

Or, en optant pour l'hypothèse qui suggère que l'intrusion granitique d'Azegour a subi un mécanisme d'implantation progressive, pendant la fin de la phase majeure synschisteuse (AIT AYAD et al., 2000), on pourra considérer que la déformation cassante peut agir en quelques situations comme une déformation fragile-ductile, perturbant par la suite la trajectoire des aplites (photo. 28).

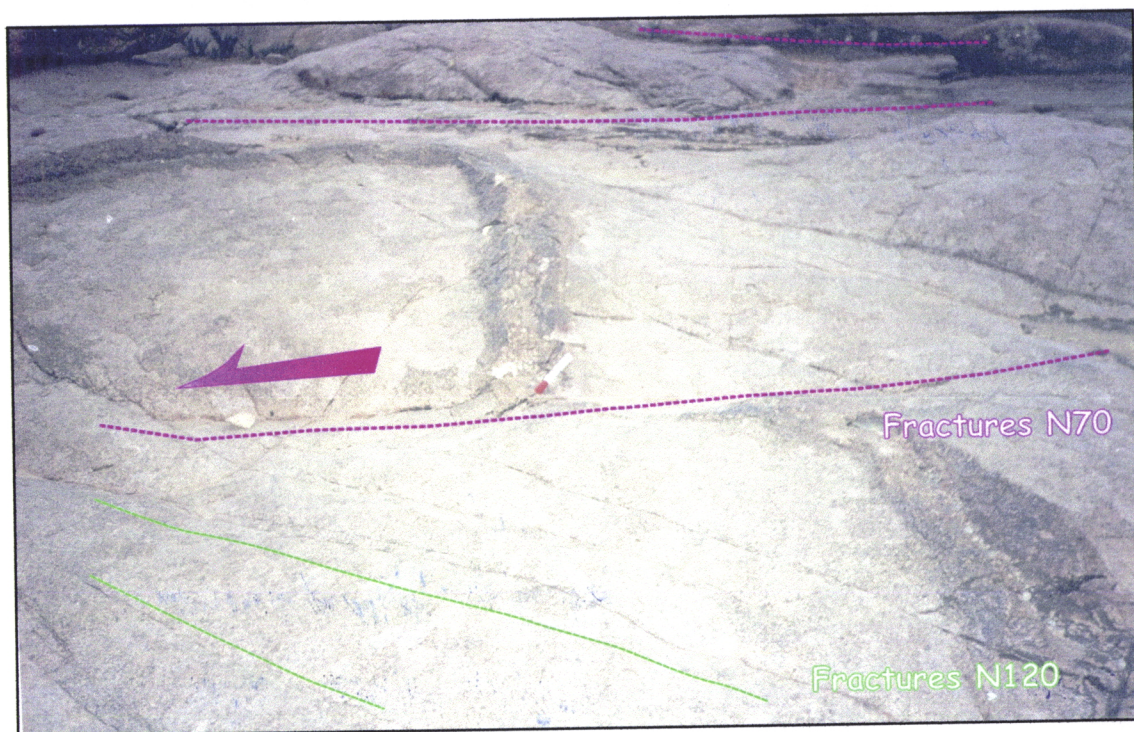


Photo. 28 : une aplitte déformée avec les fractures N70 senestres

Enfin pour les fractures horizontales elles sont probablement le résultat de la décompression du magma lors de la réalisation de l'équilibre isostasique, activé par l'érosion de la chaîne hercynienne marocaine.

II.2. DÉFORMATION CONTINUE

La déformation continue à l'intérieur du granite est trop discrète par rapport à la déformation discontinue ; puisqu'elle ne se discerne à l'œil nu qu'au niveau des poches pegmatitiques et des enclaves de l'encaissant emprisonnées au sein du granite. Celles-ci qui manifestent une nette schistosité subméridienne (photos. 29 & 30).

Cependant, une étude microscopique a été faite par LAGARDE en 1987 et illustre la déformation continue du granite d'Azegour, celle-ci se traduit par : l'acquisition d'une très légère fabrique planaire subhorizontale. Il a aussi mis l'accent sur l'étirement du magma

Chapitre 5

LA MINÉRALISATION DANS LE SECTEUR D'AZEGOUR



suivant une direction NE à NNE prouvé par la famille de filons aplitiques précoces de directions SE à SSE.

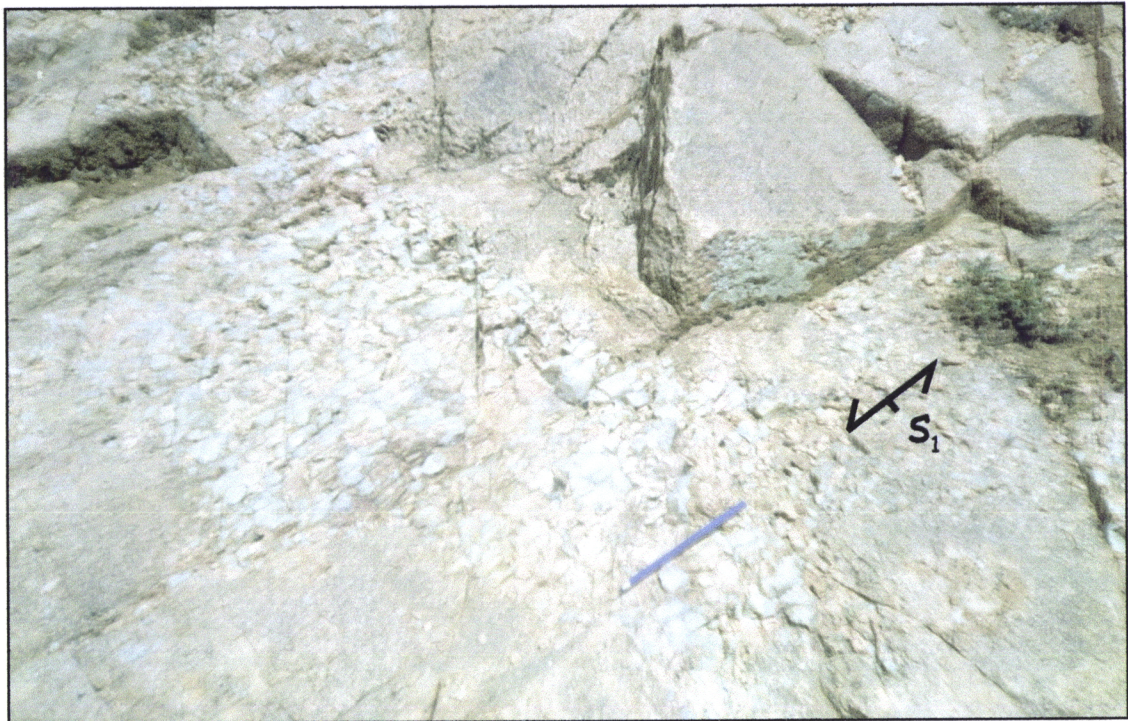


Photo. 29 : Une poche de pegmatite dévoilant des minéraux de quartz et de feldspaths dans le plan de la schistosité N-S



Photo. 30 : une enclave de l'encaissant (dans ce cas, les roches vertes) montre le développement de la schistosité N-S au sein du granite

I. INTRODUCTION

Le thème du cinquième chapitre du présent travail, ne va pas enrichir les études réalisées sur l’analyse de la minéralisation en terme pétrographique et/ou métallogénique ; d’ailleurs faites par des géologues et pétrographes antérieurs tels que PERMINGEAT, 1957, EL AMRANI, 1984 et MRINI, 1985. Ce pendant ce chapitre à pour objectif une étude tout à fait récente, visant surtout à contrôler, à l’échelle de la cartographie locale, les facteurs structuraux associés à la déformation varisque, qui ont conditionné la localisation spatiale et préférentielle de telle ou telle minéralisation.

Or, en se basant sur les travaux métallogéniques antérieurs et conformément avec les propres observations, ainsi que la cartographie détaillée du secteur étudié ; on a pu conclure la synthèse suivante :

Dans la région d’Azegour, les minéralisations présentent deux modes de gisement d’importance très différente :

- Dans les roches à silicates calciques, résultat de la métamorphose des calcaires impurs ; les minéraux de la minéralisation apparaissent comme des constituant de la roche elle-même (PERMINGEAT, 1957). Ce mode de gisement, de beaucoup plus important, est celui des minéraux caractéristiques : molybdénite, scheelite, chalcoppyrite, et particulièrement celui de la blende.
- Dans les cassures à remplissage de type filonien ; la minéralisation souvent très complexe, mais d’importance réduite et accompagnée d’une gangue plus ou moins abondante.

Tableau. 2 : Eléments et minéraux de la minéralisation (adapt. PERMINGEAT, 1957)

Eléments	<i>O</i>	<i>S</i>	<i>S et AS</i>	<i>S et Sb</i>	<i>As</i>	<i>natifs</i>
Mo	-----	molybdénite	-----	-----	-----	-----
W	scheelite	-----	-----	-----	-----	-----
Fe	magnétite	pyrite	mispickel	-----	löllingite	-----
Cu	-----	chalcoppyrite	-----	cuivre gris	-----	-----
Zn	-----	blende	-----	-----	-----	-----
Pb	-----	galène	-----	-----	-----	-----
U	pechblende	-----	-----	-----	-----	-----
Ag	-----	argentite	-----	stéphanite	-----	argent

La minéralisation de la région d’Azegour est bien importante et assez complexe de point de vue richesse et ramification métallogénique (tableau. 2). Pourtant il serait fastidieux de les étudier tous ici. En dépit il est essentiel d’analyser à tout terme, et surtout celui structural, les trois métaux et trois minéraux, qui marque les formations paléozoïques d’Azegour :

- Le molybdène sous forme de molybdénite ;
- Le tungstène sous forme de scheelite ;
- Le cuivre sous forme de chalcopryrite.

En effet, c’est le granite qui donne à la région d’Azegour sa physionomie métallogénique particulière. La nature de l’encaissant à aussi attribuer une partie prépondérante dans la genèse de ces minéralisations. La présence du calcaire et par le biais de métamorphisme de contact, à jouer un rôle primordial dans la répartition des minéralisations citées ci-dessus.

Dans ce cadre, PERMINGEAT en 1957, a défini une zonalité de la minéralisation, et ceci en distinguant trois zones dans le secteur d’Azegour :

- L’affleurement granitique ;
- L’auréole de métamorphisme de contact du granite ;
- La zone au-delà de cette auréole.

De ce fait il a montrer que les principales minéralisations (molybdénite, scheelite, et chalcopryrite) se répartissent comme suivant :

La molybdénite : elle se trouve exclusivement dans les grenatites (skarnification de calcaires magnésiens et de dolomies), mise à part quelques faibles imprégnations sans aucune extension dans le granite, aussi bien qu’à la surface qu’au profondeur ; à 122 m atteint par les travaux de la mine d’Azegour.

En revanche, au-dehors de l’auréole de métamorphisme de contact aucune trace de molybdénite n’a été signalée, malgré la présence de la grenatite au niveau du flanc sud de l’accident de medinat (Cf. fig. 11).

La scheelite : est répartie d’une manière identiquement analogue à celle de la molybdénite dans la région d’Azegour ; la scheelite n’existe que dans les roches à silicate calcique de métamorphisme.

De la même façon la scheelite est aussi étroitement associée au massif granitique, elle ne dépasse jamais son auréole de contact.

La chalcopryrite : se trouve en quelques fissures dans le granite sous forme de mouches dans une gangue quartzeuse stérile. En outre cette minéralisation cuprifère s’est concentrée dans les roches à silicates calciques de l’aurole de métamorphisme de contact de granite. Mais contrairement aux deux précédentes minéralisations, la scheelite déborde largement cette aurole.

II. ANALYSES ET INTERPRETATIONS STRUCTURALES DE LA LOCALISATION SPATIALE DES PRINCIPAUX METAUX (Mo, W, Cu) DANS LE SECTEUR CARTOGRAPHIÉ DE LA RÉGION D’AZEGOUR

On va procéder cette analyse par le biais de deux outils tellement importants dans la quantification et l’évaluation des données géométriques aussi bien que alphanumériques ; permettant par la suite de déduire de prestigieuses conclusions :

- Le premier outil, c'est le diagramme de Patterson ;
- Le deuxième est les systèmes d’information géographiques (S.I.G).

II.1. DIAGRAMME DE PATTERSON

II.1.1. THÉORIE DU DIAGRAMME

Le diagramme de Patterson est une représentation graphique bidimensionnelle. Contrairement à la distribution de données dans l’espace géographique, à un centre de symétrie générant avec la projection d’autres points un espace vectoriel propre (Fig. 29). Ce diagramme fournit une méthode visuelle et simple, par laquelle les alignements possibles sur le terrain, peuvent êtres amplifiés et plus facilement reconnus.

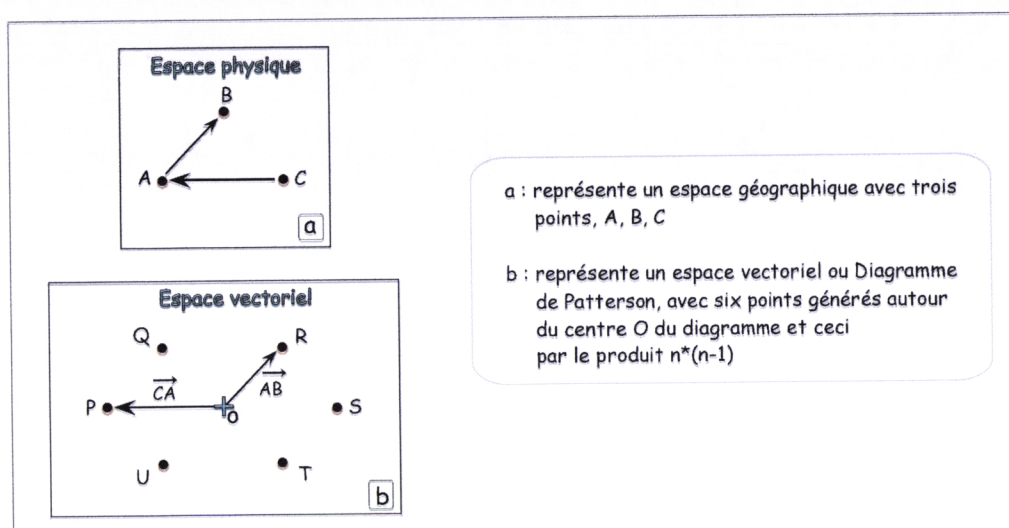


Fig. 29 : La façon de transformer un espace physique à un espace vectoriel (adapt. LAIN ALLISON et al. 2000)

En effet, cette amplification du nombre de points qu’on a évoqué ci-dessus, (et qui peuvent identifier d’éventuels alignements de traits qui ne sont pas aléatoires) est le résultat du produit fonctionnel de la transformée de Fourier. C’est ainsi, si on dispose de n points géoréférenciés dans un espace géographique (carte géologique par exp.), alors on aura $n*(n-1)$ points projetés dans le diagramme de Patterson.

II.1.2. METHODE DE CONSTRUCTION DU DIAGRAMME

Afin de réaliser une étude plus précise et plus locale des facteurs structuraux associés à la déformation varisque, et qui ont conditionné la localisation spatiale des métaux prédominants (molybdène, tungstène, et cuivre). On a procédé à une cartographie détaillée de la moitié Sud du granite d’Azegour et de son encaissant, accomplis par une cartographie digitale au *laboratoire de l’investigation des roches industrielles et ornementales* (LIRIO). Celle-ci en reconstituant les travaux faits sur le terrain, nous a permis d’établir les coordonnées géoréférentielles, azimutales des différents métaux cartographiés dans la zone étudiée.

Cette approche nous a fournit les coordonnées précises de seize localisations ou points où se situent les différents métaux, que se soient sous forme de grattage, indice de minéralisation ou mine déjà exploitée. En outre, ces seize points qui se semblent sporadiquement disperser dans l’espace physique (carte géologique d’Azegour, Annexe 1), vont engendrer par le produit $n*(n-1)$, 240 points dans l’espace vectoriel du diagramme de Patterson (Fig. 30-A). Ce résultat d’amplification de points nous a permis l’acquisition de prestigieuses déductions, concernant la répartition de la minéralisation, qu’on va illustrer dans le sous-titre suivant.

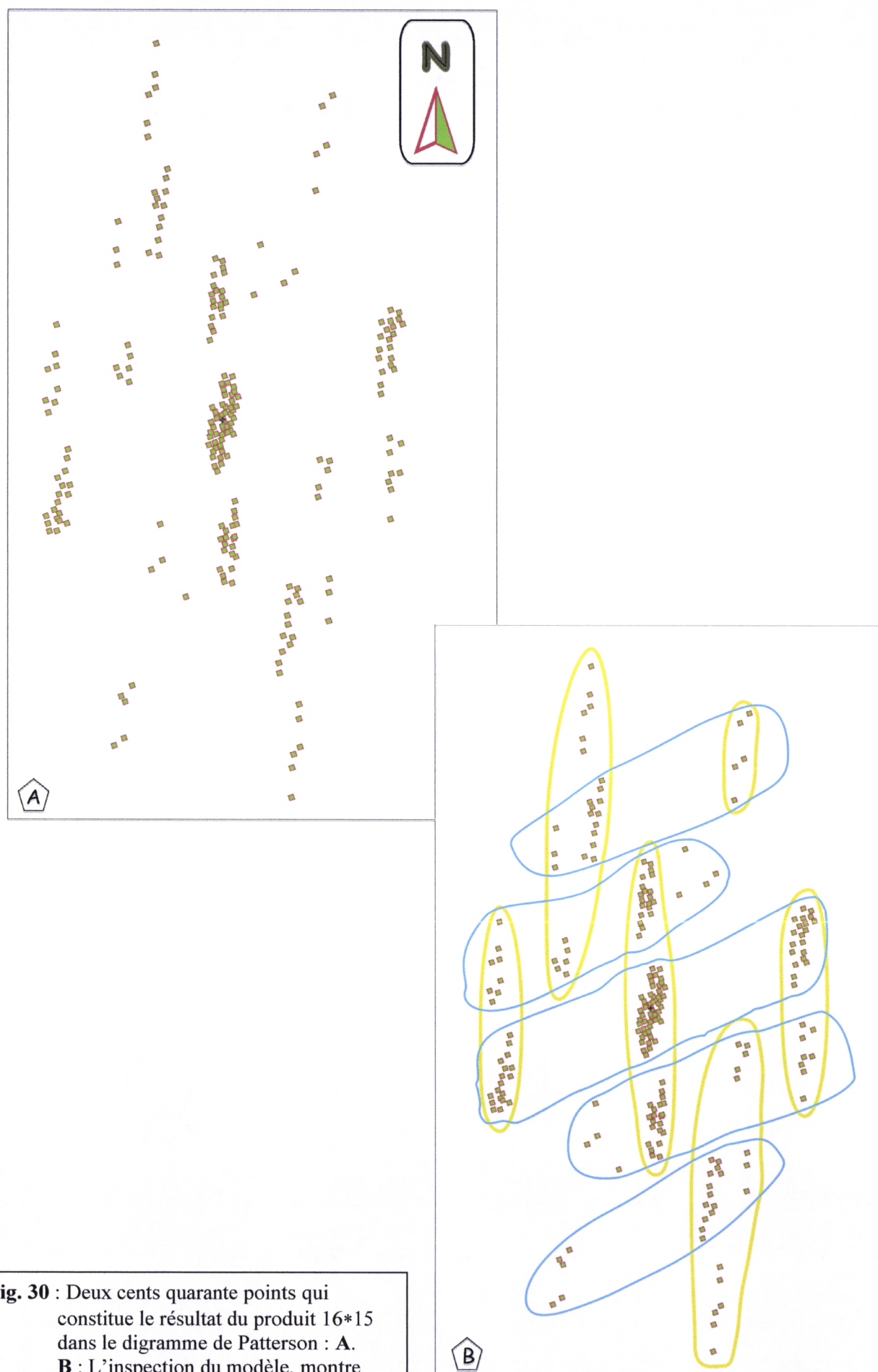


Fig. 30 : Deux cents quarante points qui constitue le résultat du produit 16×15 dans le digramme de Patterson : **A**.
B : L’inspection du modèle, montre deux orientations privilégiées.

II.1.3. INTERPRÉTATION DU DIAGRAMME DE PATTERSON

L'autocorrélation établit par le diagramme de Patterson a multiplié les occurrences et les minéralisations cartographiées sur le terrain en concrétisant les alignements possibles et assez discrètes sur le terrain, par des orientations bien palpables et facilement reconnus.

Alors, de cette manière on a pu persuader l'agencement de deux familles d'orientations (Fig. 30-B) :

- La première famille qui se manifeste distinctement dans le diagramme, est celle d'orientation N-S.
- La deuxième famille est moins marquée par rapport à la première et s'individualise par une orientation de ENE.

Alors on en déduit que :

- a) La première famille ne peut que être que la représentation de l'orientation des structures cartographiques de la zone d'Azegour, constamment de direction subméridienne, tels que :
 - Les unités lithostratigraphiques ;
 - Les orientations structurales matérialisées par une schistosité monotone subméridienne, des axes de plis linéation d'étirement qui respectent toujours la même orientation.
- b) La deuxième famille sera alors le symbole marquant l'influence des fractures et couloirs de cisaillement N60 à N70, affectant toute la région d'Azegour, que se soit le granite ou son encaissant.

D'autre part, en interprétant cette analyse vectorielle dans le contexte géologique et cartographique, on peut conclure que la minéralisation dans la région d'Azegour est favorisée par ces deux familles d'orientation mutuellement liée de point de vue genèse de minéralisations.

En effet dans la région d'Azegour, on observe un grand nombre de cassures. Beaucoup ont un remplissage imprégné d'oxyde de fer. En gros il existe deux directions générales de fractures minéralisées : l'une N-S conforme à la direction générale de la tectonique hercynienne ; l'autre ENE (N60 à N70), remarquablement noté par son rejet de quelques centimètres à trois

- Le système d'information géographique *GeoMedia* ;
- Un ordinateur avec les périphériques : lecteur de bande magnétiques, scanner et imprimante couleur.

Après cette étape préliminaire, on a procéder à :

- Scanner la carte topographique d'Amizmiz à l'échelle 1/50.000 ;
- Scanner la carte géologique bâtie sur le terrain à échelle 1/9000 avec tous les détails (schistosité, linéation d'étirement, minéralisation, etc.) ;
- Amélioration de la qualité des images dans Photo Paint
- En suite, à l'ouverture de ces images *raster*, il faut réaliser un domaine réel de travail que les outils SIG offrent. C'est le Calage (*warp*).
Le calage d'une image : a pour but de superposer des données vectorielles sur une image *raster*. On doit commencer par caler l'image de façon à ce que l'échelle de l'image soit bien déterminée. Souvent, il faut plus de trois points dont on connaît les coordonnées exactes pour réussir cette opération ;
- Par la même occasion, on doit préciser le système de projection utilisé sur l'image (carte topographique) pour l'adopter aux autres couches (*map windows*). Ce système est souvent indiqué dans les carte, et dont le notre est *le système géodésique de Merchich. Projection conique conforme de Lambert*.

Après ces opérations, le projet SIG dans sa partie vectorielle est prêt à s'exécuter. Or une grande partie reste encore à élaborer, celle-ci est la conception et la structuration de la base de données. Pour cela, nous avons adopté la méthode la plus utilisée de nos jours dans la structuration des bases de données, **MERISE** (METHODE DE REALISATION INFORMATIQUE PAR SOUS ENSEMBLES).

II.2 2 STRUCTURATION DE LA BASE DE DONNÉES

La conception d'un système d'information (dans ce cas le SIG pour Azegour) n'est pas évidente car il faut réfléchir à l'ensemble de l'organisation que l'on doit mettre en place. La phase de conception nécessite des méthodes permettant de mettre en lieu un modèle sur lequel

on va s'appuyer. La modélisation consiste à créer une représentation virtuelle d'une réalité de telle façon à faire ressortir les points auxquels on s'intéresse.

Comme nous avons déjà référé, la structuration de la base de donnée a été faite selon la méthode MERISE.

II.2.3. PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE MERISE

MERISE est une méthode de conception, de développement et de réalisation de projets informatiques. Le but de cette méthode est d'arriver à concevoir un système d'information. La méthode MERISE est basée sur la séparation des données et des traitements à effectuer en plusieurs modèles conceptuels et physiques. La séparation des données et des traitements assure une longévité au modèle. En effet, l'agencement des données n'a pas à être souvent remanié, tandis que les traitements le sont plus fréquemment.

En outre cette conception du système d'information se fait par étapes, afin d'aboutir à un système d'information fonctionnel reflétant une réalité physique. Cette succession d'étapes est appelée *CYCLE D'ABSTRACTION POUR LA CONCEPTION DES SYSTEMES D'INFORMATION* : (Fig. 31)

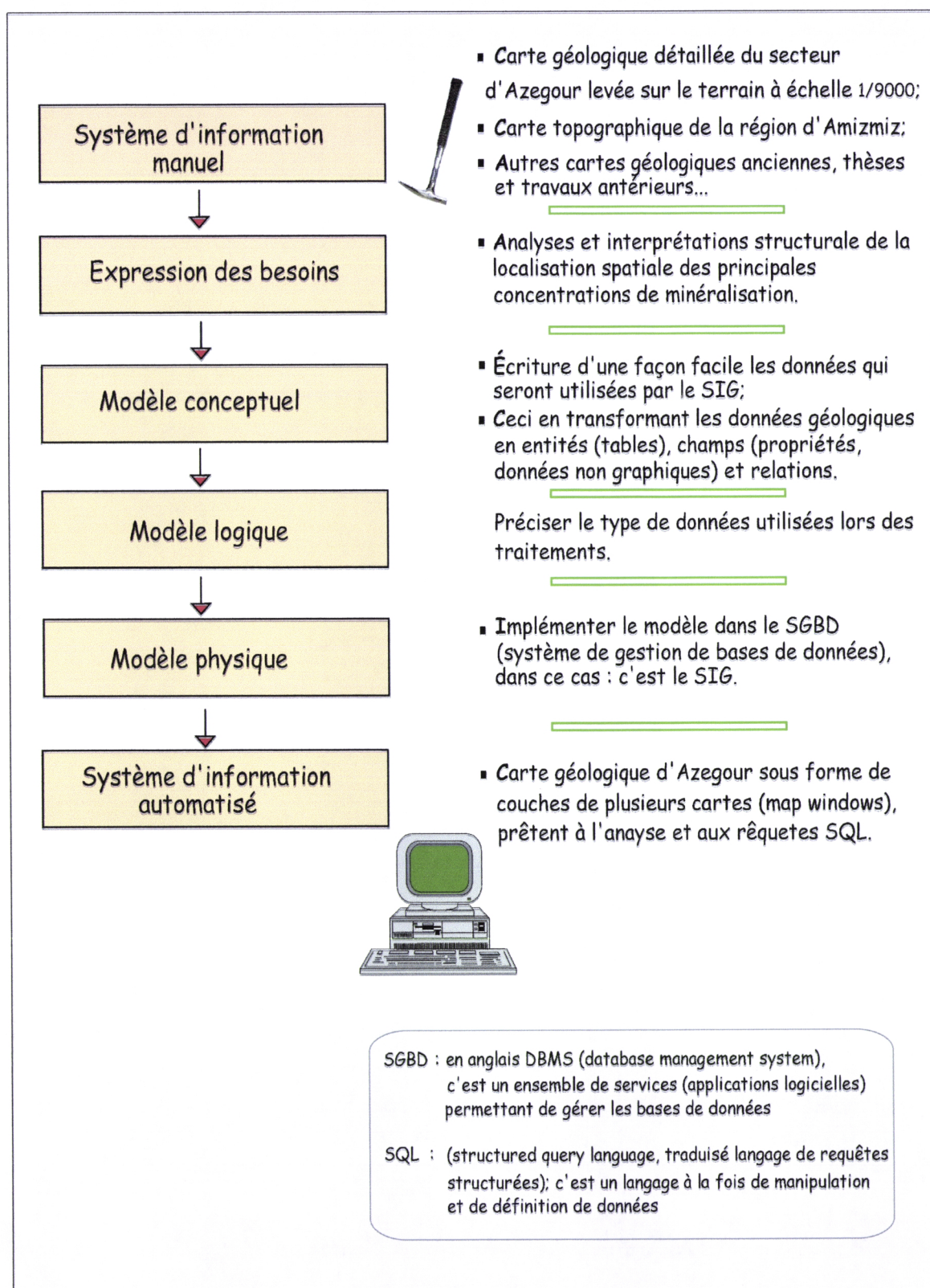


Fig. 31 : Cycle d'abstraction pour la conception du SIG de la région d’Azegour

II.2.4. APPLICATION DE LA MÉTHODE MERISE

Alors, en optant cette méthode de conception et en se servant des données numériques suivant :

- Carte topographique de la région d’Amizmiz à l’échelle 1/50.000 avec trois couches d’informations : courbes de niveaux, hydrographie, pistes et villages ;
- La carte géologique détaillée du secteur d’Azegour à l’échelle 1/9000 avec dix couches d’informations : lithologie, minéralisations, grattages, intrusion (granite d’Azegour), filons, failles, schistosité, linéation d’étirement et axe de plis ;
- Des anciennes cartes, travaux et thèses antérieurs.

Un Modèle Conceptuel de Donnée (MCD) a été produit pour essayer d’écrire d’une façon formelle les données qui seront utilisées par le système d’information (Fig. 34). Il s’agit donc d’une représentation des données, facilement compréhensible, permettant de décrire le système d’information à l’aide de classes d’entités, de propriétés et de relations.

Une classe d’entité : est un ensemble composé d’entités de même type, c’est-à-dire dont la définition est la même (Fig. 32).

Les classes d’entités sont représentées par un rectangle. Celui ci est séparé en deux champs ; le premier pour libellé et le deuxième pour la liste des propriétés :

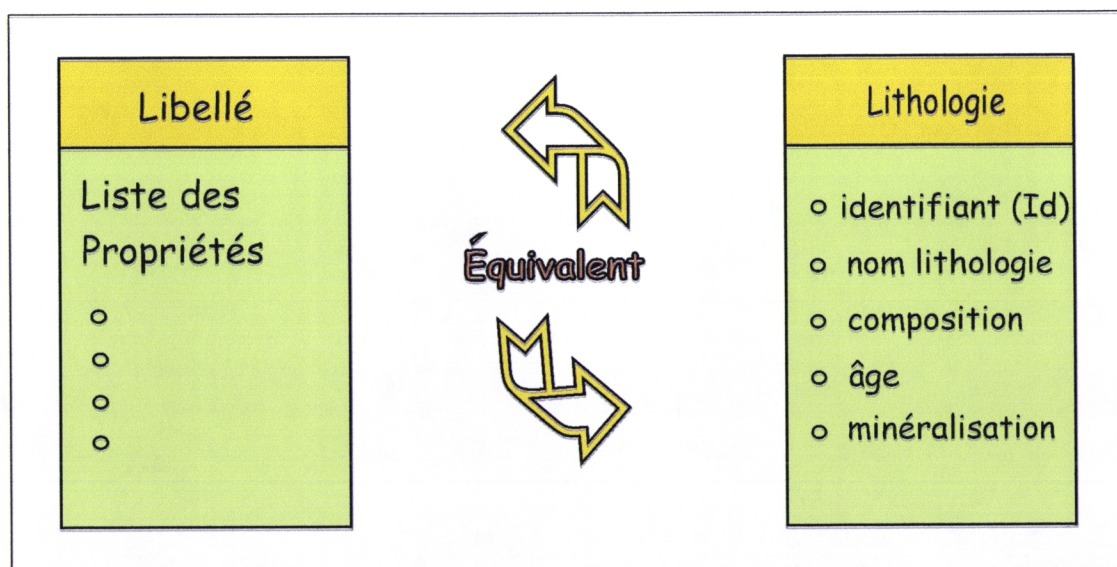


Fig. 32 : Illustration de la notion *Classe d’entité*

Par exemple, la table ou classe d’entité LITHOLOGIE peut se schématiser comme suivant :

Id	Nom lithologie	Composition	Âge	Minéralisations
1	Calcaire	Silicates calciques, grenatites et skarns	Géorgien	Mo, W, Cu...
2	Schiste tacheté	Oxydes de fer, magnétites et cordiérite	Géorgien- Acadien	Trace de Fe et de Cu
etc---	-----	-----	-----	-----

Une relation : représente les liens sémantiques qui peuvent exister entre plusieurs entités. Une relation est représentée par un ovale (Fig. 33).

Habituellement, chaque relation est définie par une **cardinalité**, celle-ci permet de caractériser le lien qui existe entre une entité et la relation à laquelle elle est reliée. La cardinalité d'une relation est composé d'un couple comportant une borne maximale et une borne minimale, intervalle dans lequel la cardinalité d'une entité peut prendre sa valeur :

- la borne minimale (généralement 0 ou 1) décrit le nombre minimum de fois qu'une entité peut participer à une relation
- la borne maximale (généralement 1 ou n) décrit le nombre maximum de fois qu'une entité peut participer à une relation

A titre d'exemple :

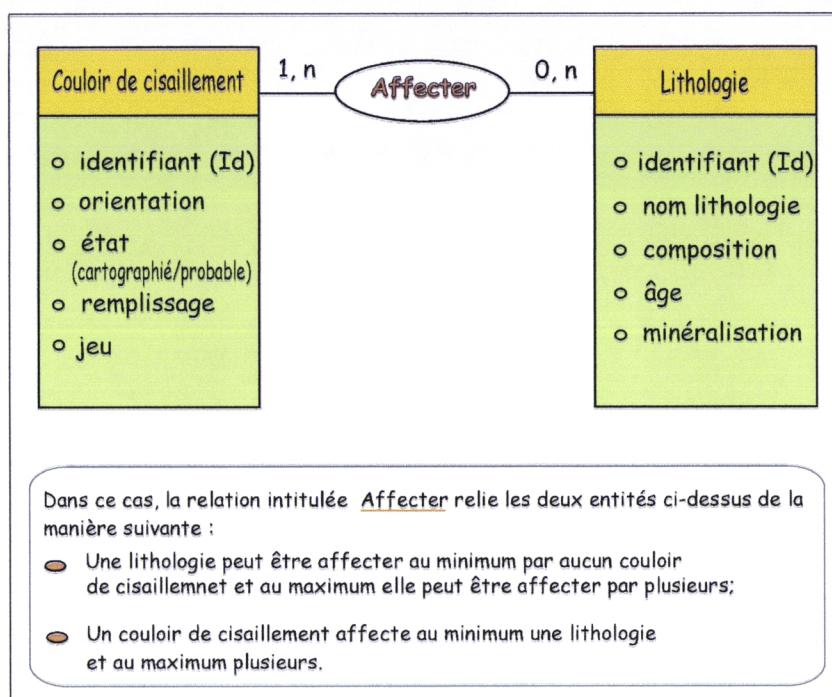


Fig. 33 : Illustration de la notion *Relation*

II.2.5. LA CRÉATION DES FICHIERS

La création des fichiers de base (entités) dépend de la nature de données utilisées (par exemple raster, vecteur ou alphanumérique).

Notamment, dans notre projet de SIG, la digitalisation nous a permis de profiter les infrastructures (sous format vecteur) pour chercher les éléments lithologiques et structuraux qui influencent la présence de la minéralisation en utilisant l'instruction '*buffer**'.

* Le terme buffer signifie une aire d'influence d'un objet donné. Par exemple, l'aire d'influence thermique du granite ou d'un filon.

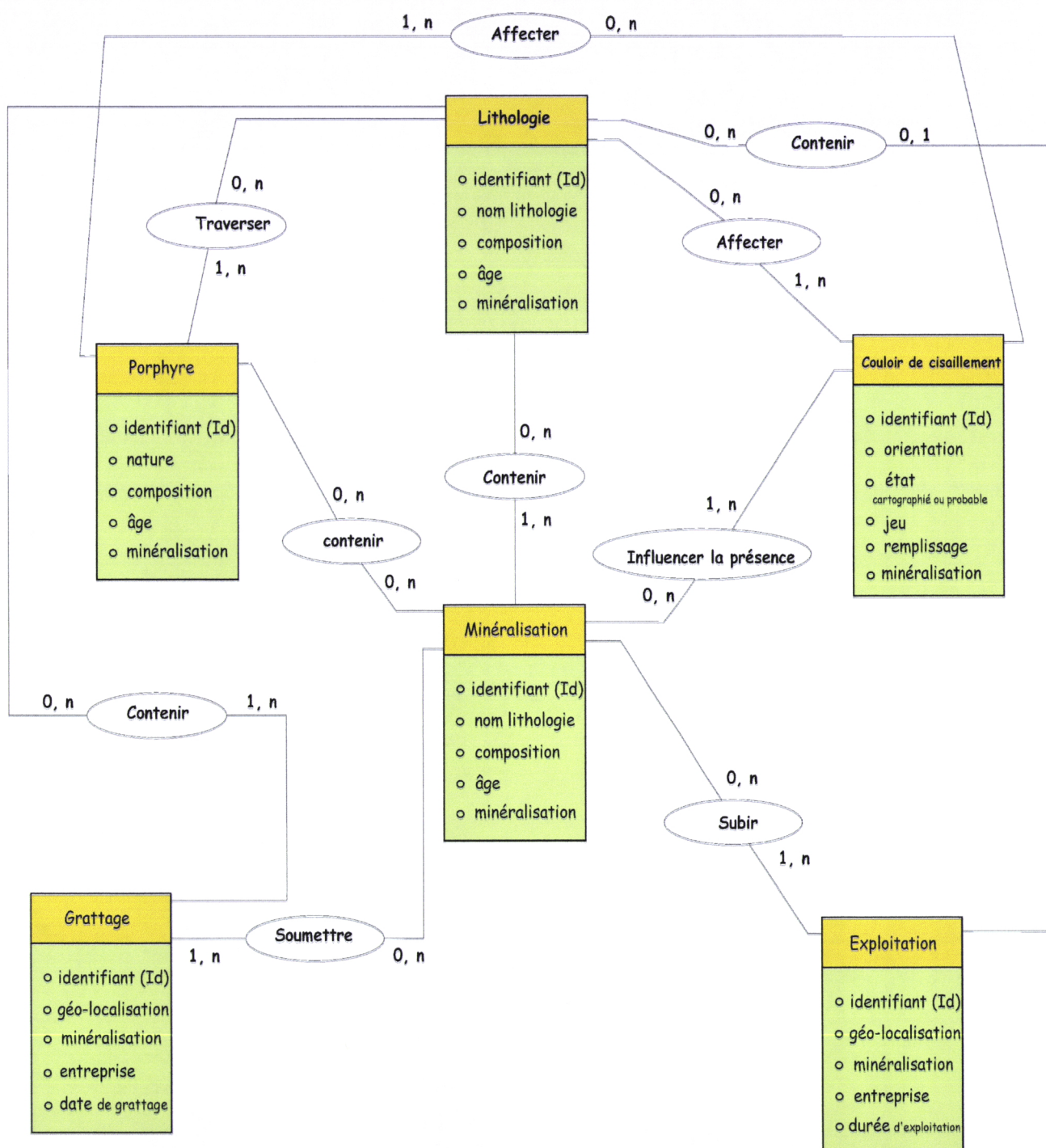


Fig.34 : Schéma du modèle conceptuel de données (MCD)

II.2.6. EXPLOITATION DE LA BASE DE DONNÉES À TRAVERS LE SIG

Notre intérêt dans le développement d'un tel projet de SIG, est celui de la localisation préférentielle de la minéralisation (exceptionnellement Mo, Cu et W) vis-à-vis les facteurs structuraux associés à la déformation hercynienne dans la région d'Azegour.

Alors c'est pour cette raison que les données de base ont été structurées de telle sorte à créer les classes d'entités suivantes : couloir de cisaillement, minéralisation, formation lithologique

et granite constituent l’information géologique la plus importante, et dont l’entité minéralisation (que se soit exploitation, grattage ou seulement indice) est la base pour l’analyse et l’interprétation des différentes cartes thématiques* qu’on a développé par la suite.

CARTES THEMATIQUES (PHASE D’EDITION DU PROJET DE SIG APPLIQUE A AZEGOUR ; ANNEXE : 2)

La cartographie thématique est un outil d’analyse et de visualisation très efficace. C’est le procédé qui consiste à colorer une carte géologique en fonction d’un sujet donné.

En effet les données que nous allons afficher sur une carte thématique se nomment **variables thématiques** et dans notre cas ils sont principalement, exploitation et grattage, granite, calcaire, couloir de cisaillement et porphyres.

Nous allons précisé par conséquence au niveau de l’exploration de SIG, les éventuelles influences des roches ignées (granite et porphyres) comme source de chaleur, des calcaires comme infrastructure lithologique et des couloirs de cisaillement comme chenaux de la circulations de fluides hydrothermaux sur la localisation préférentielle de la minéralisation de la région d’Azegour.

II.2.6.1. CARTE THEMATIQUE : A

Cette carte a été dressée pour apercevoir l’influence du granite et des porphyres aussi bien acides ou basiques, comme étant sources de chaleurs, dans la répartition de la minéralisation concrétisée désormais par des grattages et des exploitations.

Alors, il se discerne que la plus part des minéralisations du secteur sont contrôlées par ces deux sources de chaleur.

- On a 81,25% de minéralisations sont recouvertes par les buffers effectués.
- Même pour les 18,75% qui ne sont pas recouvertes par les buffers réalisés ont reçu elles mêmes, la chaleur fournie par le granite et les porphyres ; vue qu’elles se localisent dans l’auréole de métamorphisme.

Or il faut mettre en considération que le granite cartographié s’élargit en profondeur. Par exemple entre le village minier d’Azegour et Tizgui le granite et l’encaissant se présentent

* Une carte thématique est une carte géologique particulière colorée une en fonction d’un sujet donné, tout en éliminant les structures dont on aura pas besoin.

en contact avec une interface d’inclinaison en moyenne de 36°NE, dessinant un élargissement de granite en profondeur vers l’Est et le Nord. Cet élargissement a été prouvé aussi par la cartographie de la mine d’Azegour (PERMINGEAT, 1957), où se rencontre le granite à 162 m de profondeur. Ceci nous a permis de déduire que tous les positions de minéralisation qui apparaissent hors du recouvrement des buffers réalisés sont aussi incluses vu que l’inclinaison de l’interface de contact provoque un élargissement du buffer horizontal, (Fig. 35).

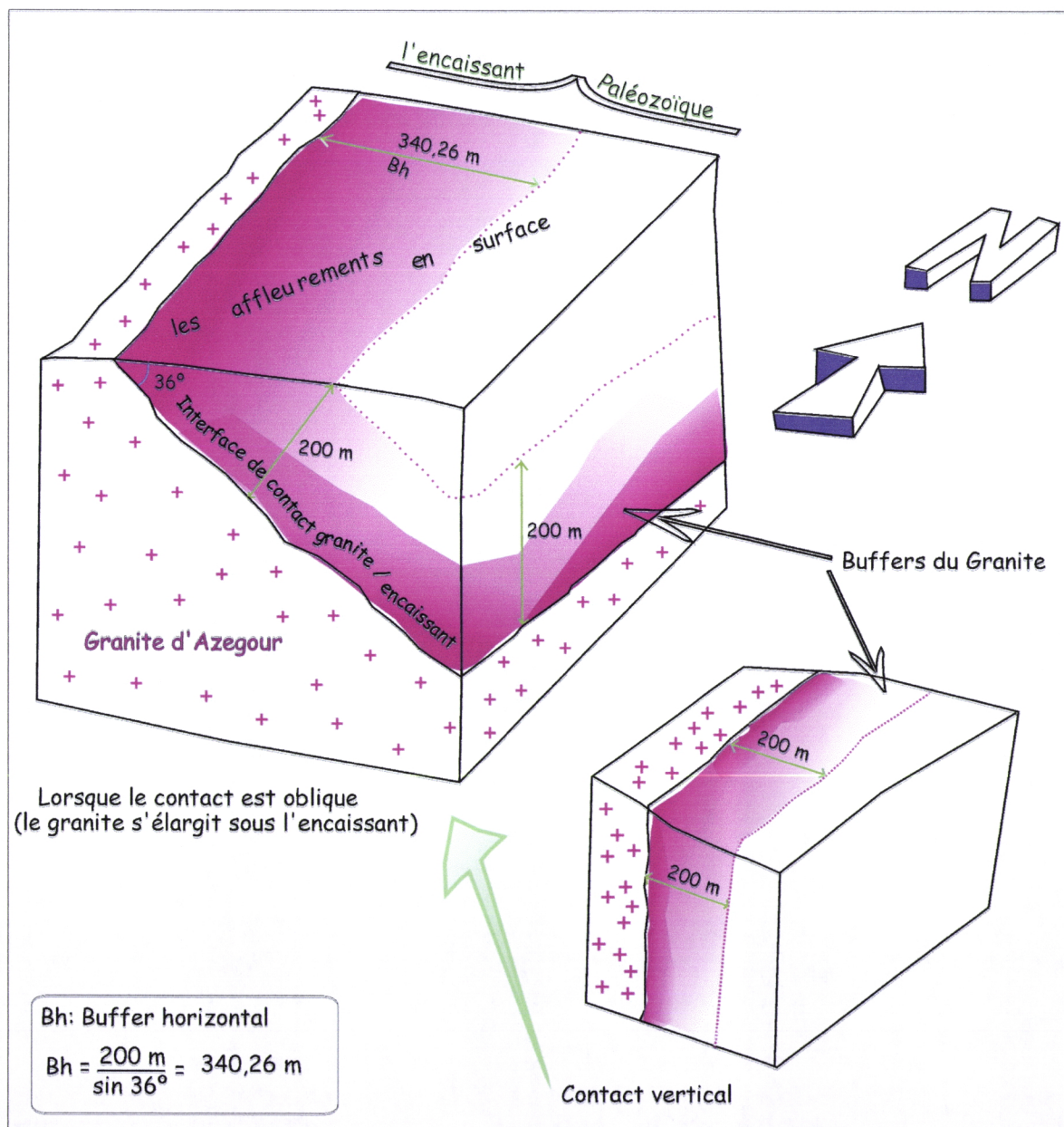


Fig. 35 : l’influence de l’élargissement du granite en profondeur sur l’accroissement du buffer en surface

Alors, à ce niveau d’analyse on peut déduire que la source de chaleur joue un rôle presque intégral dans la répartition de la minéralisation dans la région d’Azegour

II.2.6.2. CARTE THEMATIQUE : B

Cette carte montre que la quasi-totalité des minéralisations se repèrent au sein des bandes calcaires, si non elles se trouvent recouvertes par le buffer effectué.

- On en soustrait que 93,75% de minéralisations sont immergées par le buffer ;
- Toutes les minéralisations exploitées de la région appartiennent à ce recouvrement ;

En examinant les deux points précédents, il se prouve sans aucun doute que les calcaires métamorphisés sont un facteur indiscutable dans la genèse des minéralisations qui ont été exploitées. Pourtant cette affirmation nous laisse de poser la question suivante :

Pourquoi ces concentrations exploitables de minéralisation de molybdénite, scheelite et chalcoppyrite ne se trouvent pas ailleurs ?

Une réponse a été établie par PERMINGEAT en 1957 et adopter aussi par MRINI en 1985. Ces métallogénistes ont conclu que ces minéralisations sont le résultat du métamorphisme de contact. Dans les schistes et les roches du complexe volcanique, le métamorphisme n'a donné lieu qu'à de simples recristallisations, sans apport de substances étrangères à la roche ; mis à part les schistes feldspathisés et les cornéennes à muscovite dont l'extension est très limitée. Par contre dans les calcaires le métamorphisme de contact provoque parfois de simples calcaires recristallisés (cipolin), qui sont des roches stériles et autres fois il provoque la métamorphose en silicates calciques (grenatite) où est confinée la minéralisation en molybdène, tungstène et cuivre.

Cette réponse paraît tout à fait logique si en mis en considérations que les apports au cours du métamorphisme de contact sont inséparables de la minéralisation et que celle-ci provient directement du granite. En même temps, cette réponse reste impuissante à expliquer : Pourquoi dans une bande de calcaire assez homogène, de point de vue lithologique, la réaction vis-à-vis le métamorphisme de contact permute entre la génération de roches stériles (calcaires recristallisés) et en autres occasions des roches à silicates calciques qui renferment des concentrations minéralogiques considérables ?

Cette interrogation nous a sensé d'appeler autres facteurs structuraux pouvant donner une explication cohérente à ce propos. Ce qui va être illustré dans la carte thématique suivante.

II.2.6.3. CARTE THEMATIQUE : C

Cette carte thématique a pour but d'illustrer les liaisons qui peuvent exister entre le positionnement des minéralisations et le facteur dynamique concrétiser par les couloirs de cisaillement N 70 à N 60 (animés d'un mouvement senestre.

- Un pourcentage de 68,75% de minéralisations sont incluses dans le recouvrement du buffer ;
- En autre partie les trois mines où ont été exploitées les principaux minéralisations se trouvent aussi incluses dans la zone immergée par le buffer ;
- On remarque que la mine d'Azegour, qui constitue le gisement principal de la région, se place parfaitement dans la zone la plus affectée par les couloirs de cisaillement ENE, environ 38,75% des couloirs de la région cartographiée.

Ceci affirme alors, que les couloirs de cisaillement indiqués ci-dessus ont aussi un rôle décisif dans la détermination de l'emplacement des essentielles minéralisations.

II.2.6.4. CARTE THEMATIQUE : D

Cette carte thématique par l'intermédiaire de l'outil intersection ($\cap$) entre les recouvrements de trois facteurs dynamique, thermique et lithologique, engendre des aires où nous préviendrions une forte probabilité d'avoir une concentration minéralogique.

En effet il se voit que par l'intersection de ces trois variables thématiques nous avons obtenu comme résultat : neuf superficies et dont la plus étendue est celle où s'est aménagée la mine d'Azegour avec une aire au alentour de 9 hectares. D'autre part en se référant aux descriptions minière faites par PERMINGEAT en 1957 il s'aperçoit que la mine d'Azegour a été étendue suivant une direction N-S, en premier temps vers le N à direction de Tizgui et en deuxième temps vers le Sud à direction du village minier d'Azegour. Ce qui se coïncide exactement avec les aires d'intersection délimitées dans la zone SSE du secteur étudié et dont la superficie est environ de 6 hectares.

De la même façon, il se repère que les autres superficies qui se placent au Nord du secteur, se montrent correspondantes à la mine de Tizgui (étendue vers le Sud, selon

PERMINGEAT, 1957), celle du secteur de Tal'at Zegwar et les grattage s'effectuant au NNE et au SW de Tizgui. Concernant les exploitations minières de la région étudiée nous avons constaté que les aires résultantes par l'intersection les buffers réalisés sont proportionnelles avec la durée d'exploitation minière et par conséquent au tonnage en Mo, W et Cu. C'est ainsi que :

- La durée d'exploitation de la mine d'Azegour est de 1929 à 1978, correspond à une aire de 15 hectares ;
- La durée d'exploitation de la mine de Tizgui est de 1936 à 1970, correspond à une aire de 6 hectares ;
- La durée d'exploitation de la mine du secteur de Tal'at Zegwar est de 1937 à 1946, correspond à une aire de 2 hectares.

Ces correspondances cèdent à notre projet une réalité physique.

Or, concernant les zones résultantes de l'intersection qui ne contiennent pas d'exploitations minières ou de grattages, elles sont fort probablement des zones à forte concentration minérale.

En effet, le résultat que nous avons acquis dans cette carte thématique 'synthétique' est très important, vue qu'il réaffirme et d'une manière catégorique que la minéralisation du secteur d'Azegour est contrôlé en premier lieu par les structures orientées N-S et en second lieu par les structures orientées ENE.

III. CONCLUSIONS

De l'examen structural et spatial de l'ensemble des minéralisations du secteur cartographié d'Azegour, se dégagent les faits essentiels suivant :

- 1) Les principales minéralisations de la région sont étroitement localisées autour du granite du côté Est, où se trouve la principale bande calcaire qui a donné naissance à la mine d'Azegour ;
- 2) A titre d'exemple l'emplacement de la mine d'Azegour à forte concentration de minéralisations de scheelites, molybdénite et chalcopryrite, n'est pas au hasard. Mais au contraire, cet emplacement est liée à des facteurs "dynamo-thérmiqes" : couloirs de cisaillement d'orientation N70 à N60 et des porphyres subméridiens ; aussi bien qu'aux ceux lithologiques calcaireux d'orientation N-S.

En effet, ces couloirs, par leur grande ampleur, accomplissent une véritable liaison entre le granite et son encaissant. Ils provoquent une contamination de celui-ci (essentiellement le calcaire) par le flux thermique et par la composition chimique des fluides hydrothermaux riche en fer, aluminium et silice (cartographie géochimique, M. L. RIBEIRO, H. EZZOHAIRI & A. CHARIF, 2000), ce qui favorise la genèse de la minéralisation.

- 3) Que se soit le diagramme de Patterson avec son espace vectoriel ou les cartes thématiques (développées par le SIG) avec ces textures géologiques réelles, il se prouve très nettement que le contrôle spatial de la minéralisation est la conséquence des deux orientations mentionnées ci-dessus. Celles ci qui sont le fruit de la déformation tardihercynienne de la région d'Azegour.

Chapitre 6

ÉVOLUTION GÉODYNAMIQUE D'AZEGOUR



L'histoire hercynienne à tardi-hercynienne de la région d'Azegour est caractérisée par un continuum de la déformation ponctué d'étapes magmatogènes, sédimentaires et structurales.

Au totale, on peut schématiser de la façon suivante l'évolution des roches hercyniennes d'Azegour :

- Probablement, au Cambrien inférieur, la région d'Azegour comme la partie occidentale de la Meseta marocaine, constitue une plate forme carbonatée qui surmonte une série volcano-détritique éventuellement infracambrienne ;
- Les mouvements épirogéniques du Paléozoïque inférieur, ont engendré un volcanisme dacito-andésitique qui a évolué conformément avec la sédimentation carbonatée. Lorsque les volcans sont émergés et sont géographiquement loin du bassin de sédimentation d'Azegour, ils fournirent sporadiquement un matériel qui formera au futur les roches volcano-sédimentaires. En revanche si ces volcans sont immergés, ils donnèrent des laves en coussins, ou *pillow lava* (les roches vertes) ;
- Au Cambrien moyen, le bassin d'Azegour constitua un milieu calme favorable à une sédimentation argileuse étendue ;
- Le Cambrien supérieur n'est pas connu à Azegour, il constitue une lacune généralisée à l'échelle de la Meseta marocaine ;
- De l'Ordovicien au Carbonifère inférieur (Viséen), ne se rencontre aucune information géologique, dans le secteur cartographié de la région.
- A partir du Carbonifère supérieur, la région commença à sentir la déformation hercynienne paroxysmale à caractère progressif :

En situant la région étudiée dans son cadre paléogéographique pendant Le Carbonifère supérieur-Permien moyen, elle était placée dans le bassin périméditerranéen (BONIN, 1987). Par cet emplacement et en fonction de la tectonique des plaques (surtout Gondwana et Laurasia), ainsi que les paléostructures affectant le socle Précambrien ; il se fut engendré deux phases de déformations :

- a) La première phase est progressive, initié par une déformation D_{1a} , à contrainte compressive majeure approximativement E-W. Les événements plus précoces liés à cette phase sont essentiellement des plissements généralement N-S, une schistosité subméridienne et des couloirs de cisaillement N70 animés d'un jeu dextre (Fig.36).

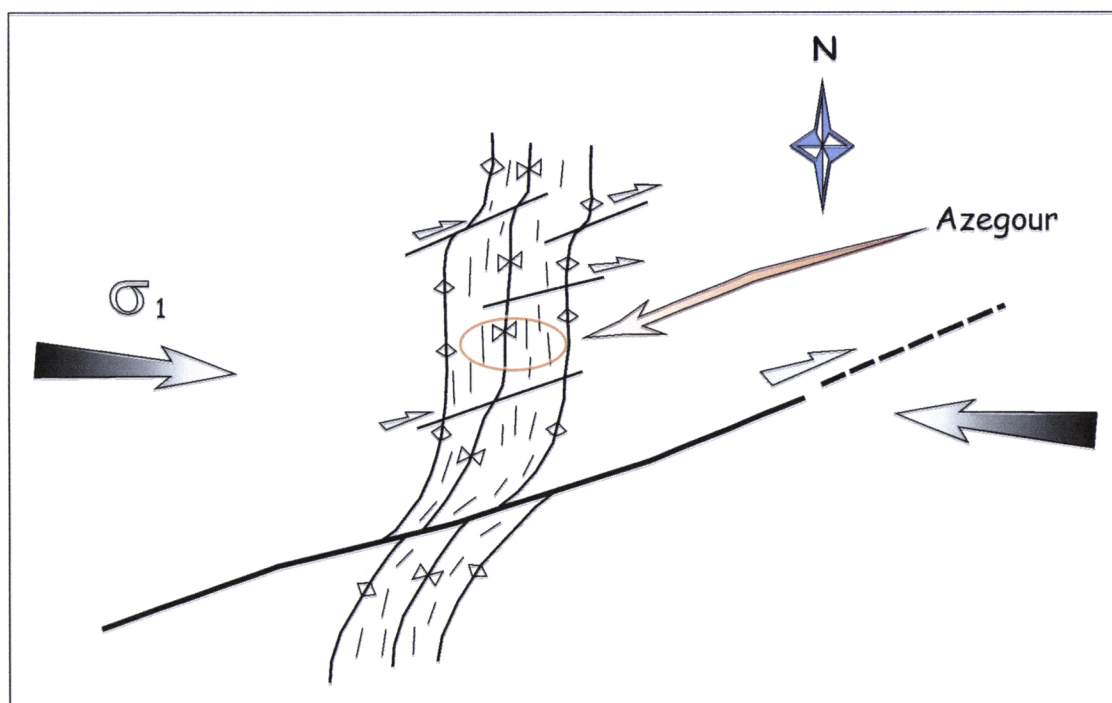


Fig. 36 : Structures tectoniques de la phase D_{1a}

Pendant cette phase, le matériel a été sous état physique plus ductile. Alors avec une telle contrainte maximale sensiblement orientée E-W nous étions à espérer deux familles de cisaillements à jeu conjugué. Or vu que le substratum de la chaîne hercynienne marocaine est parsemé par des anisotropies orientées N60 à N70, celles-ci ont favorisé le développement des cisaillements ENE dextres et non pas les cisaillements senestre SSE (Fig. 37).

Or, on en remarque que dans la zone étudiée, même les couloirs de cisaillement N70 dextres des épisodes les plus initiaux de la phase D_1 sont peu importants, parce que ne se rencontre aucun endroit où la schistosité tend à la direction N70.

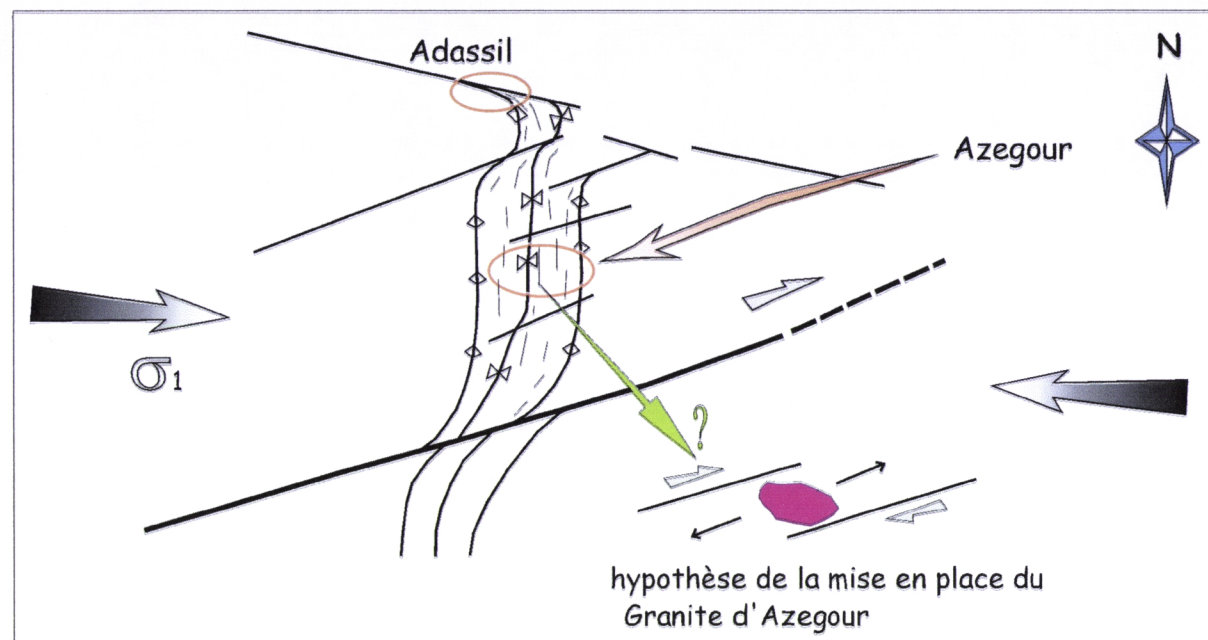


Fig. 38 : Structures tectoniques de la phase D_{1b}

En effet, ces couloirs de cisaillement générés par le même champ de contrainte, sont probablement liés à un comportement moins ductile des matériaux dus éventuellement à l'évolution de la chaîne hercynienne (peut être Stéphanién).

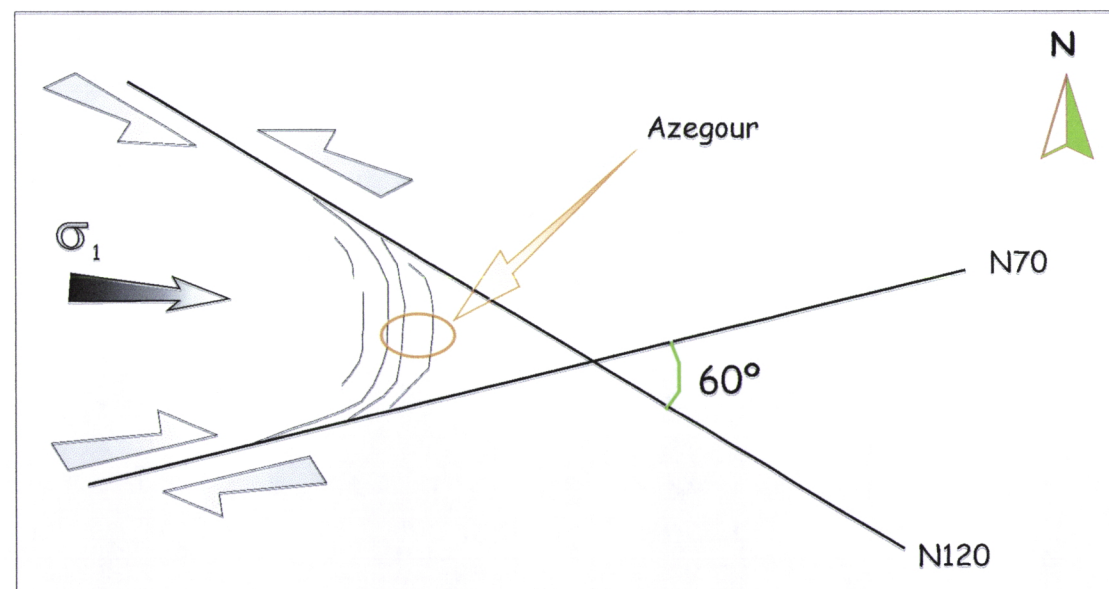


Fig. 39 : Modèle théorique de la création des cisaillements ENE senestres au sein d'un matériel moins ductile

A propos de la mise en place du granite d'Azegour, il est probablement appartenu à un épisode tardif de cette première phase. Par sa nature alcaline peralumineux, (BONIN, 1982) a

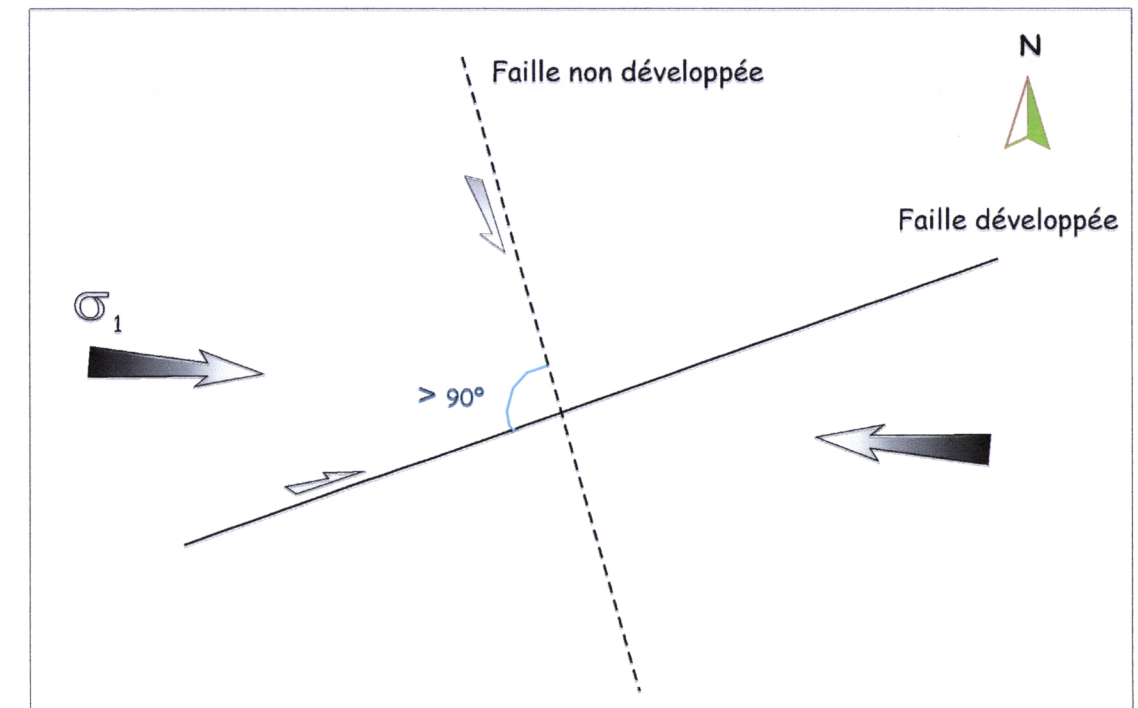


Fig. 37 : Modèle théorique de la création des cisaillements ENE senestres au sein d'un matériel ductile

La perdurance de Cette déformation a donné lieu à des couloirs de cisaillement N 120. A ce niveau de la déformation 'D_{1b}', la schistosité se montre une déflexion à la proximité de ces couloirs (à Aït Daoud, ADNANE 2003 et Adassil, HADANI, 2003). En revanche dans le secteur étudié il s'aperçoit que la schistosité conserve la même trajectoire subméridienne et que les mouvements cisailants N120 senestre sont absentes (Fig.38).

proposé que ce type de granite se localise éventuellement le long de cisaillements intralithosphériques non rectilignes.

Concernant notre interprétation, nous avons constaté que la zone étudiée présente des structures plicatives liées à une schistosité subméridienne et monotone. Ceci démontre que la région dans son cadre locale n’a été subie aucune perturbation significative par des facteurs tectoniques. Or les régions qui délimitent le secteur étudié se présentent affectées par des importants accidents cartographiés ENE et NE (Fig. 38 & 40), celles-ci qui puissent êtres à l’origine de sa mise en place.

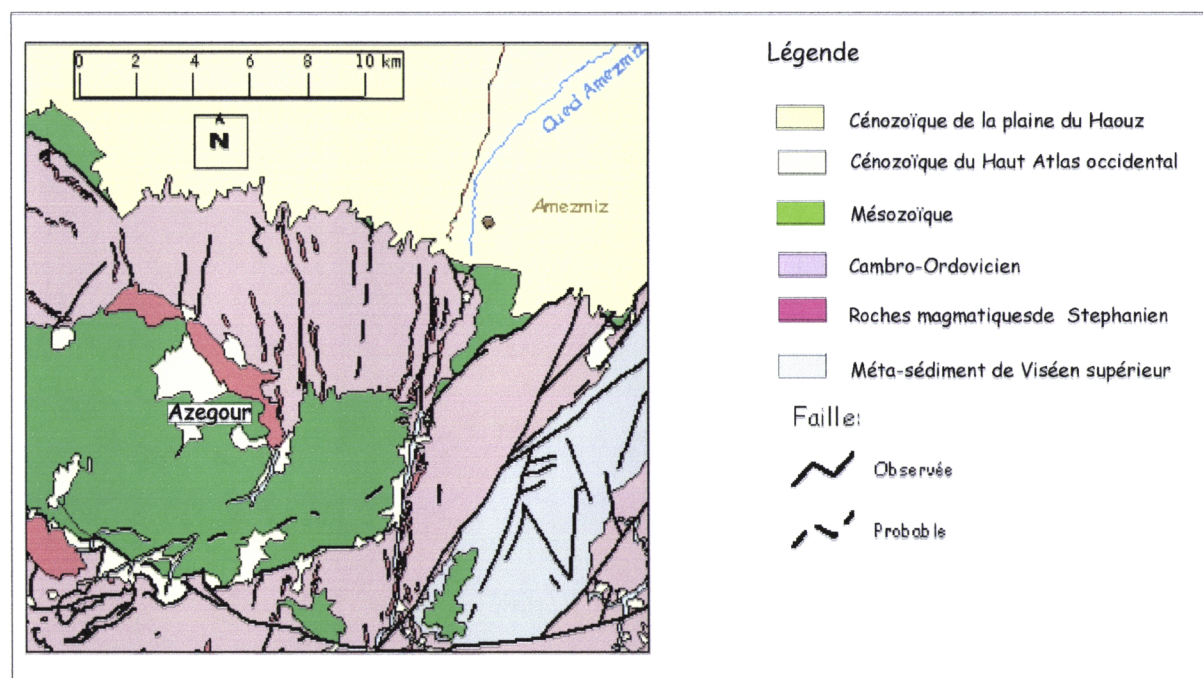


Fig.40 : Positionnement du granite d’Azegour dans son cadre régional (carte digitale, MADIH, 2003)

Conformément à l’implantation du magma granitique d’Azegour, les mouvements des couloirs de cisaillement N70 dextre, entraîna probablement la perturbation d’équilibre de certaines formations paléozoïques de la région, provoquant par la suite leur effondrement (les roches vertes).

En autre temps, les roches paléozoïques d’Azegour commencèrent à subir le métamorphisme de contact dont la température a été estimé à 573° c (permettra de situer le granite de 6 à 7 Km de profondeur) par la découverte des cristaux de quartz β dans la mine d’Azegour (PERMINGEAT, 1957). Ce métamorphisme va engendrer les roches à silicates calciques (hôte de la minéralisation).

D'autre part, au fur et à mesure de la différenciation du magma granitique, il y'a eu successivement formation des pegmatites en poche et en petits filons, commencement de la fissuration par diminution du volume de magma, cette fissuration sera le siège de la plantation des aplites. En parallèle la région d'Azegour, par les structures de ces formations subméridiennes, elle a favorisé l'installation d'un réseau de porphyres acides (de même nature que le granite), suivit d'un autre réseau de porphyres de même orientation mais avec une composition chimique très différente (origine granodioritique probable) et une extension très poussée.

En ce qui concerne la genèse de la minéralisation du secteur d'Azegour, il est crédible qu'elle a accompagnée les phases de la différenciation du magma granitique. Cette dernière en corrélation avec les mouvements cisailants des accidents N70 ils ont favorisé la formation des roches à silicates calciques, hôte des principales minéralisations de la région étudiée.

- b) La deuxième phase de déformation est nommée D_2 , postérieure au granite. Elle se caractérise essentiellement par le rejeu des plans d'anisotropie N70 de la phase antérieure. Cette phase se dévoile aisément sur le terrain par le fait qu'elle est manifestée par des couloirs de cisaillement N70 senestres à faible amplitude et associée parfois à des autres N-S.

Le rejeu de ces anciennes anisotropies est expliqué par la théorie de *"book shelf"*. En effet cette phase de déformation tardihercynienne a eu lieu pendant que le matériel rhéologique a été assez fragile. Ce comportement influence le façonnement des mésostructures de la région, entraînant par la suite une rotation interne des blocs déjà structurés pendant la phase antérieure.

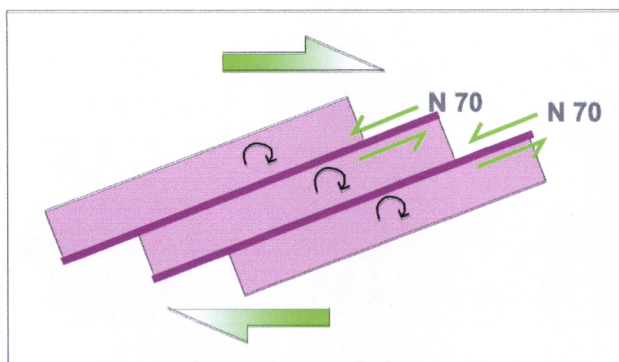
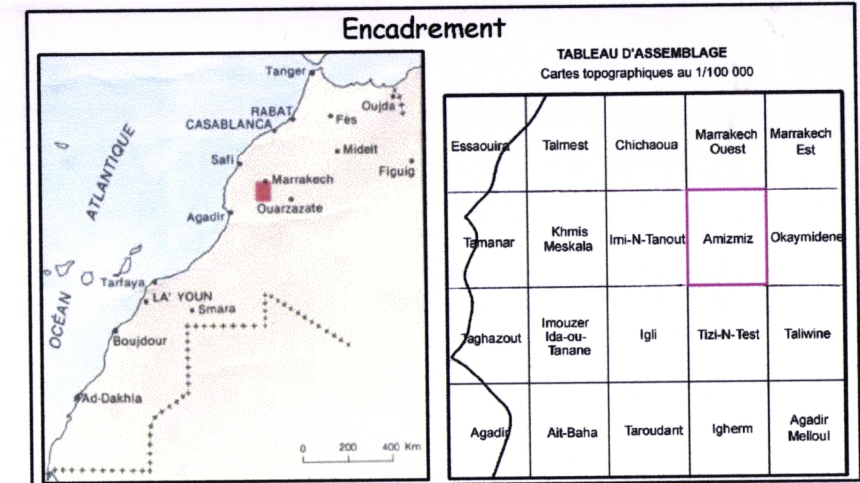
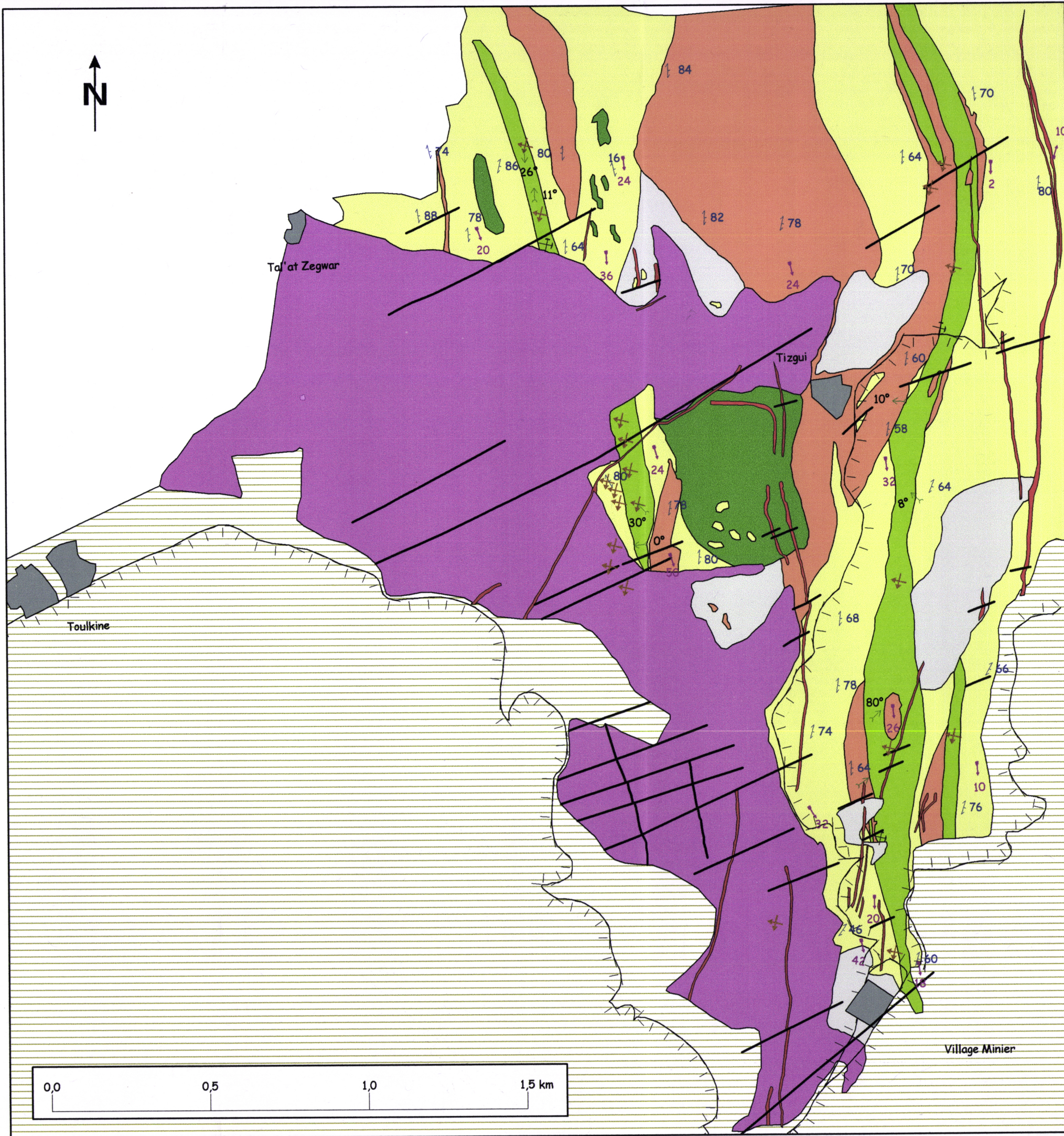


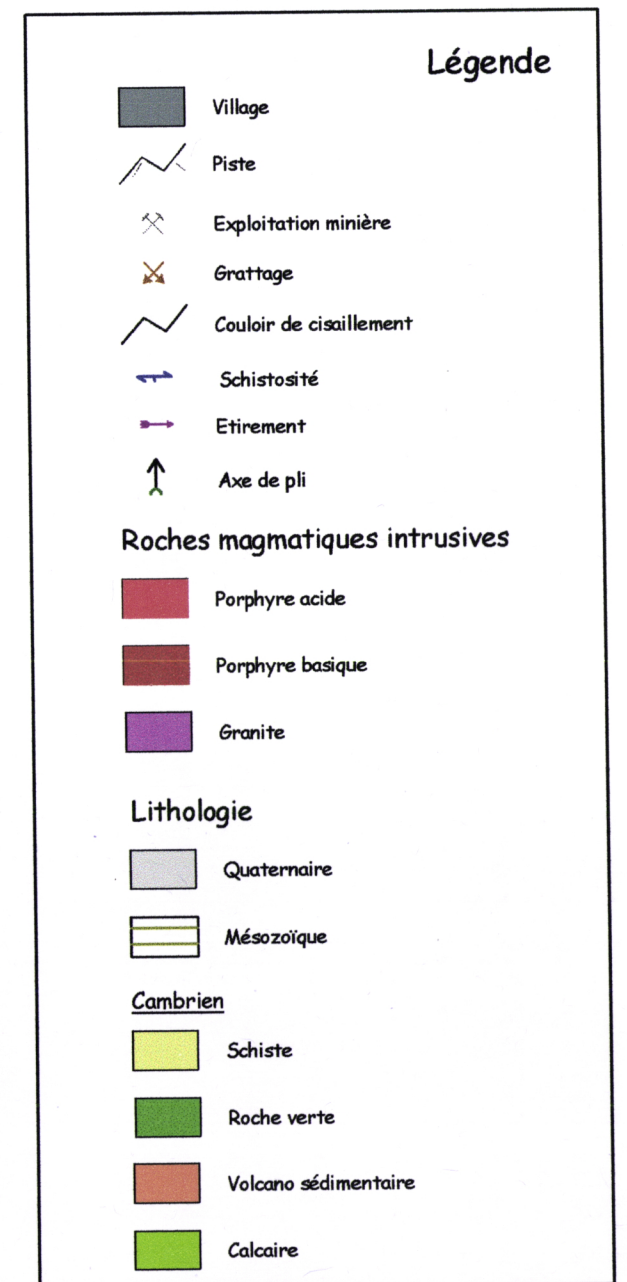
Fig. 41 : Fonctionnement des cisaillements N70 senestre selon la théorie de book shelf (RIBEIRO A 2002)

ANNEXE 1

CARTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION D'AZEGOUR



Carte Géologique de la région d'Azegour



Youssef Hendaq, 2003

Thèse du Master en Cartographie Géologique de l'Université d'Évora.
Carte géologique par les Systèmes d'Information Géographiques (SIG).
Cartographie de la portion Sud du granite d'Azegour et de son encaissant.

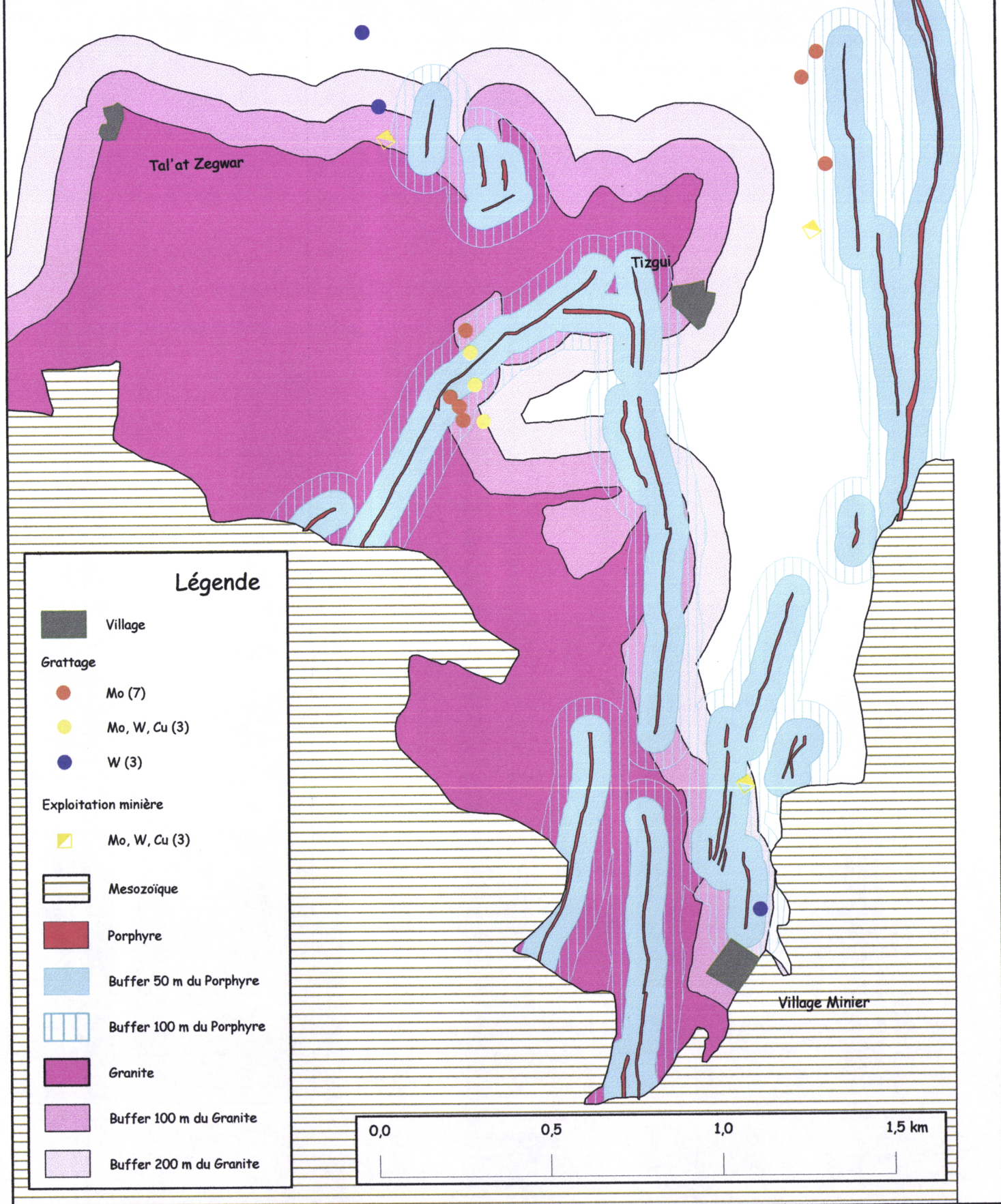
ANNEXE 2

CARTES THÉMATIQUES ÉLABORÉES PAR LE SIG



Carte Thématique A

Influence thermique des roches magmatiques sur localisation de la minéralisation

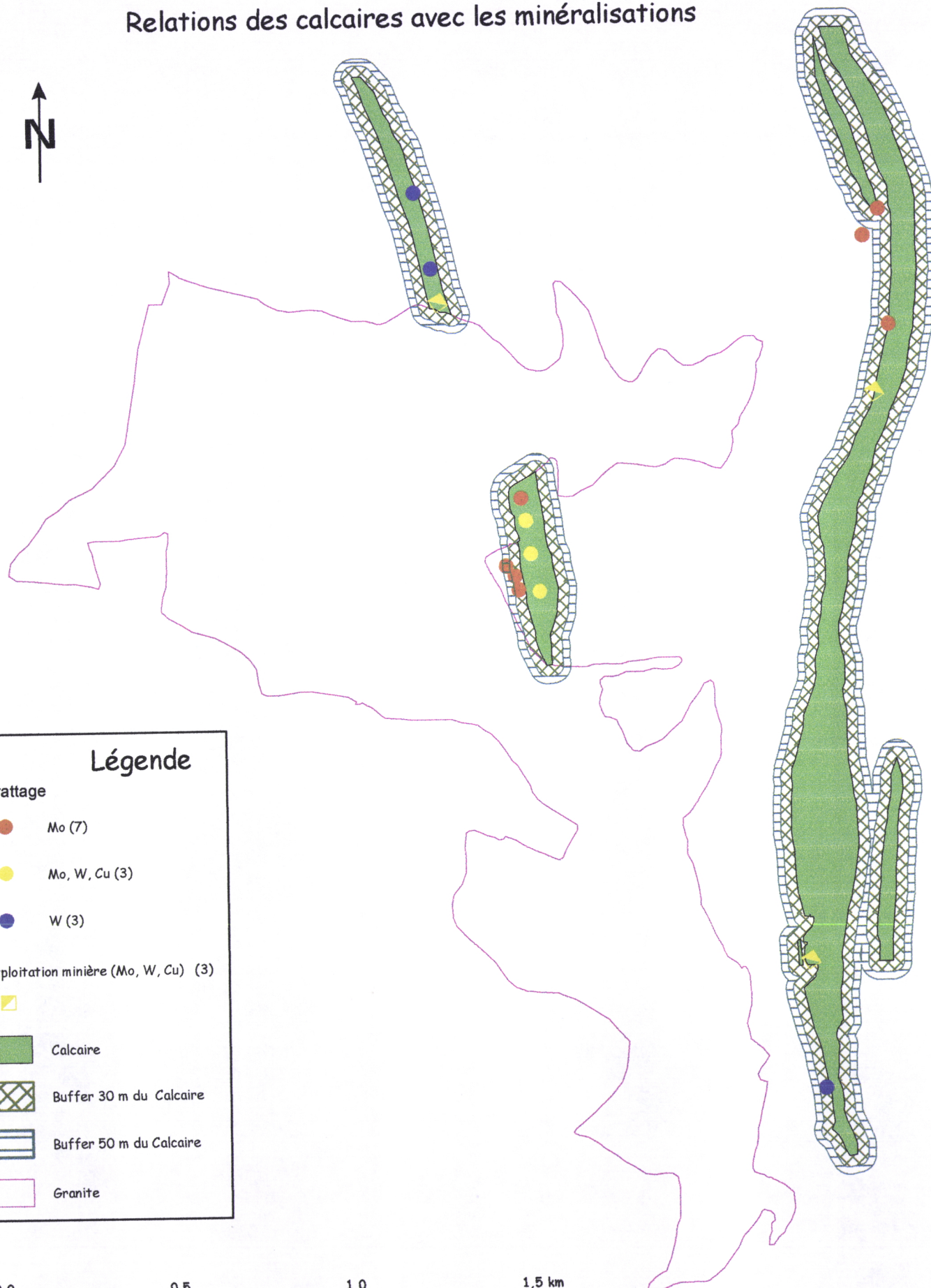


Youssef Hendaq, 2003

Thèse du Master en Cartographie Géologique de l'Université d'Évora. Carte géologique par les systèmes d'information géographiques (SIG).
Cartographie de la portion Sud du granite d'Azegour et de son encaissant.

Carte Thématique B

Relations des calcaires avec les minéralisations



Légende

Grattage

- Mo (7)
- Mo, W, Cu (3)
- W (3)

Exploitation minière (Mo, W, Cu) (3)

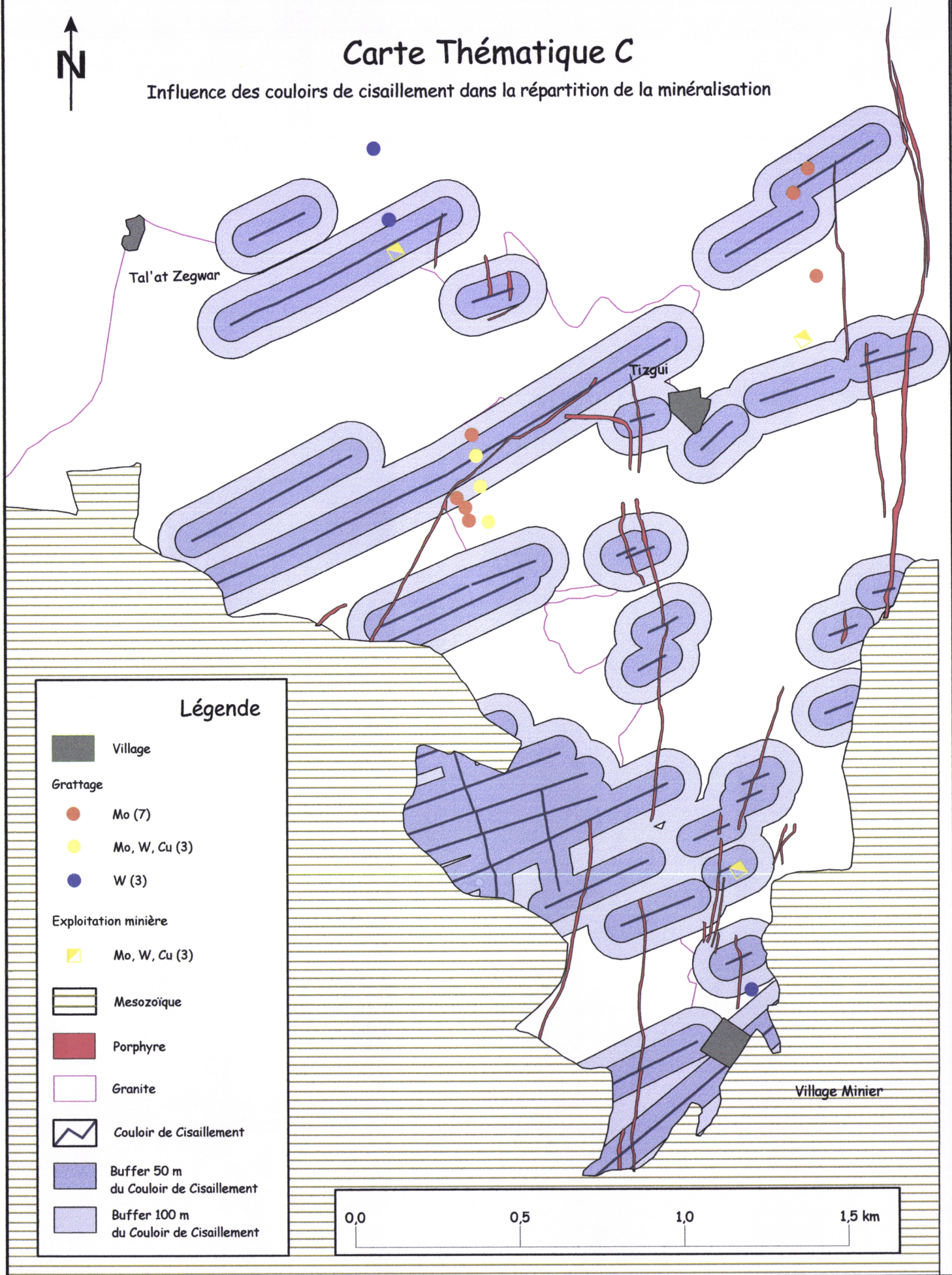
-
- Calcaire
- Buffer 30 m du Calcaire
- Buffer 50 m du Calcaire
- Granite

0,0 0,5 1,0 1,5 km



Carte Thématique C

Influence des couloirs de cisaillement dans la répartition de la minéralisation

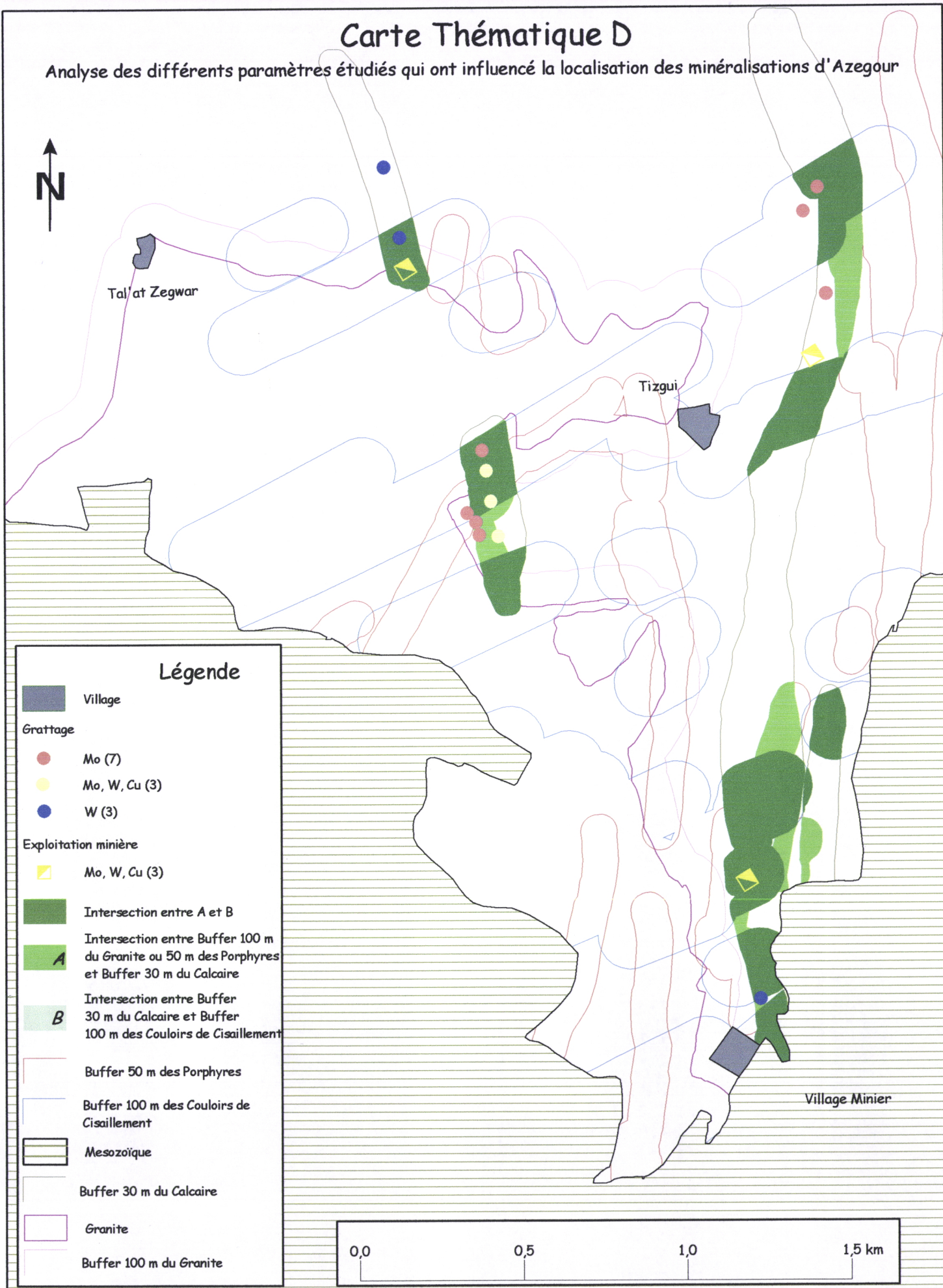


Youssef Hendaq, 2003

Thèse du Master en Cartographie Géologique de l'Université d'Évora. Carte géologique par les systèmes d'information géographiques (SIG).
Cartographie de la portion Sud du granite d'Azegour et de son encaissant.

Carte Thématique D

Analyse des différents paramètres étudiés qui ont influencé la localisation des minéralisations d'Azegour



Youssef Hendaq, 2003

Thèse du Master en Cartographie Géologique de l'Université d'Évora. Carte géologique par les systèmes d'information géographique (SIG).
Cartographie de la portion Sud du granite d'Azegour et de son encaissant.

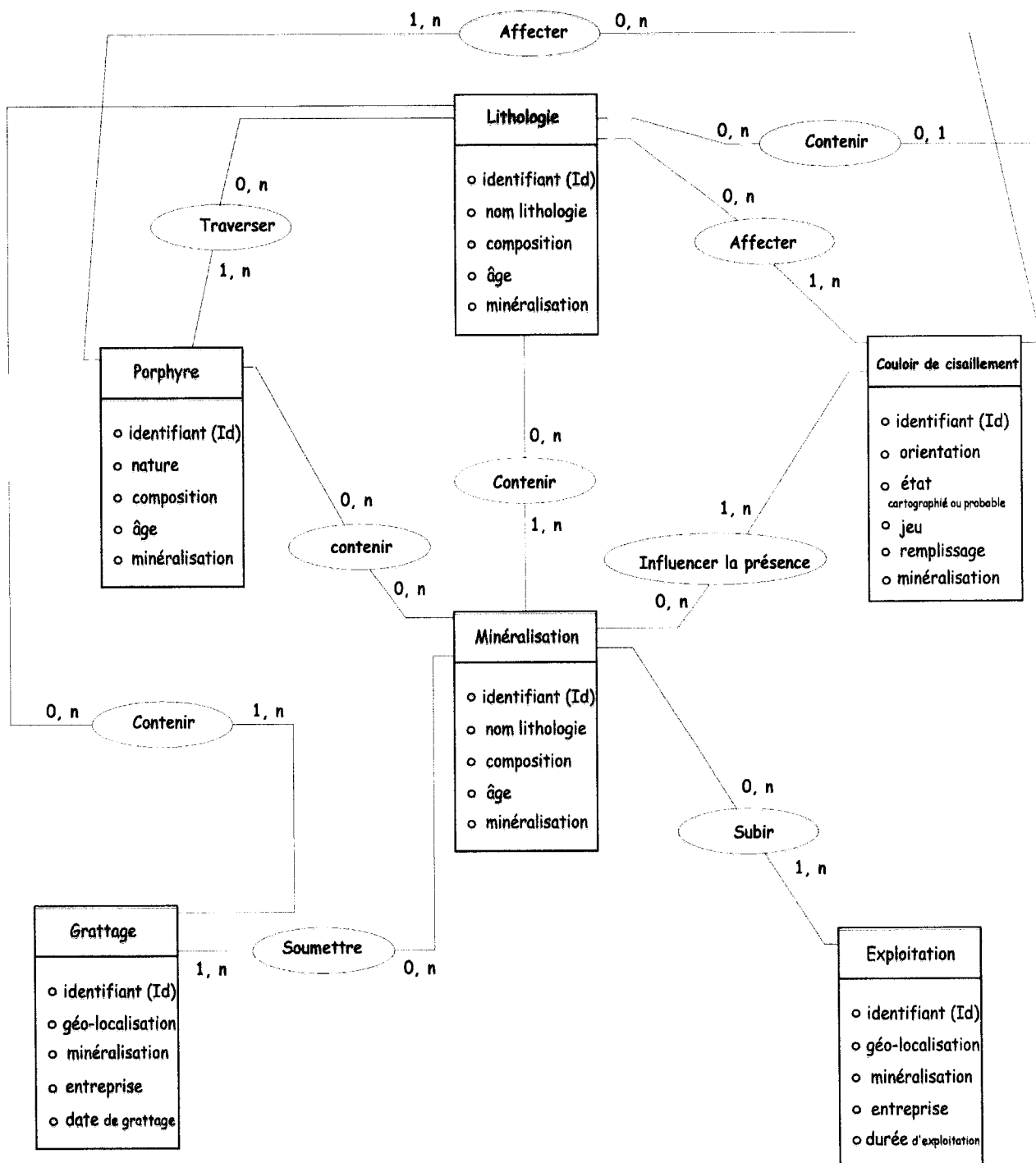


Fig.34 : Schéma du modèle conceptuel de données (MCD)

II.2.6. EXPLOITATION DE LA BASE DE DONNÉES À TRAVERS LE SIG

Notre intérêt dans le développement d'un tel projet de SIG, est celui de la localisation préférentielle de la minéralisation (exceptionnellement Mo, Cu et W) vis-à-vis les facteurs structuraux associés à la déformation hercynienne dans la région d'Azegour.

Alors c'est pour cette raison que les données de base ont été structurées de telle sorte à créer les classes d'entités suivantes : couloir de cisaillement, minéralisation, formation lithologique