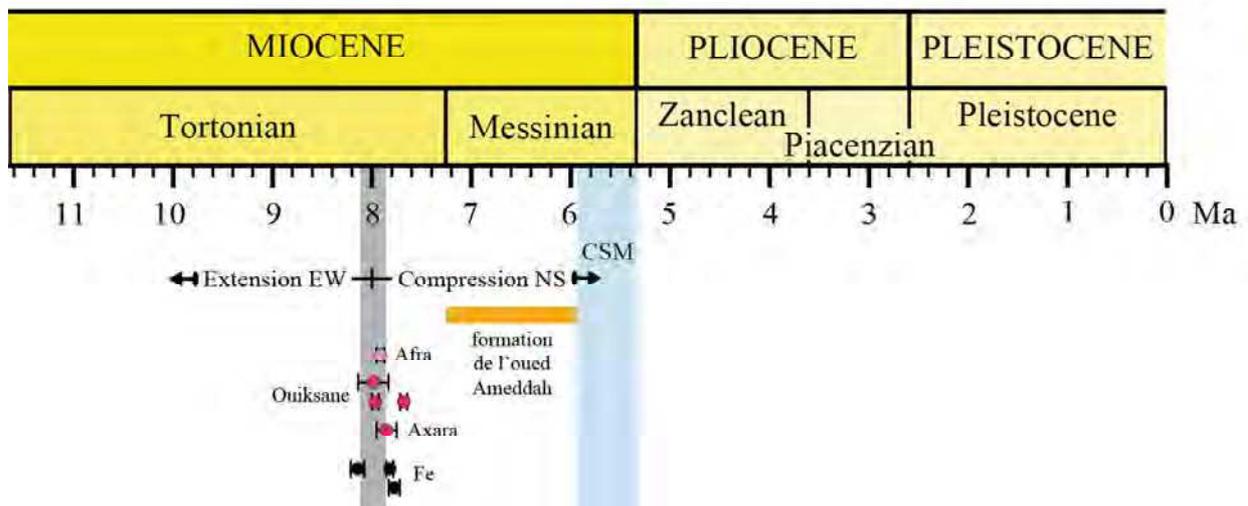


# Synthèse, interprétations et construction du modèle

Ce chapitre fait la synthèse des informations recueillies au cours de cette thèse, et exposées dans les parties précédentes de ce manuscrit. Nos différentes observations nous ont permis de construire un modèle d'évolution tectono-sédimentaire et magmatique du massif des Beni Bou Ifrou, dans lequel les minéralisations sont intégrées. Nous synthétiserons dans un premier temps les arguments qui ont permis de construire ce modèle, puis nous discuterons d'un .

L'ensemble des données obtenues lors de cette étude est rassemblé dans une compilation (Figure 12.1). Un retour sur les différents éléments clés sera d'abord fait afin d'argumenter le modèle. Enfin, le massif sera intégré dans l'évolution régionale à l'aide d'une coupe interprétative.



**Figure 12.1 :** récapitulatif des données chronologiques obtenues au cours de ce travail.

## 12.1 Apports et hypothèses

Le massif des Beni Bou Ifrou constitue une anomalie topographique haute au sein des plaines environnantes. La présence à l'affleurement de roches magmatiques grenues, à une altitude plus élevée que les laves basales plus jeunes du stratovolcan du Gourougou, implique

un soulèvement important qui a été expliqué par : (1) le chevauchement du Domaine Nord sur le Domaine Sud (KERCHAOUI 1985, 1994), (2) la résurgence d'une caldeira (EL BAKKALI *et al.*, 2001).

### 12.1.1 La problématique du Miocène moyen

Le Miocène moyen est composé de schistes riches en éléments détritiques et ce dès la base de la série, constituée de bancs calcareux lenticulaires. Cette formation semble relativement concordante sur les faciès sous-jacents, ainsi que l'a décrit KERCHAOUI (1994), et la déformation y est très similaire. KERCHAOUI attribue la linéation d'étirement pénétrative NS, qui lui est par contre exclusive, au chevauchement du Domaine Nord sur le Domaine Sud. Cette composante non-coaxiale présente régulièrement des mouvements vers le Sud qui pourraient être le reflet de détachements gravitaires formés localement lors de la mise en place de cette formation.

Le sommet du Miocène moyen comporte en outre d'importantes klipptes sédimentaires que KERCHAOUI (1994) décrit comme des « olistolithes à foliation ancienne et cipolins dérivant d'un domaine métamorphique anté Miocène moyen ». Les olistolithes ont donc enregistré une déformation antérieure à leur âge de dépôt. D'après les directions de transport sédimentaire, KERCHAOUI situe le domaine source au Nord du Rif oriental, et donc probablement au niveau des nappes rifaines. Or, il n'est pas nécessaire d'invoquer une source si lointaine puisque certains éléments de cet olistostrome semblent provenir directement de l'érosion du Domaine Nord : schistes, faciès magmatiques grenus altérés et surtout carbonates. Ces derniers présentent en effet des figures de *slumps* et des indices de minéralisations qui rappellent particulièrement les faciès rencontrés entre Axara et Setolazar, dans le secteur nord-oriental. L'existence d'olistolithes minéralisés constitue par ailleurs une contrainte chronologique majeure à l'échelle du massif dans son ensemble, puisqu'ils suggèrent que la minéralisation à magnétite dans le Domaine Nord était déjà mise en place et exposée à l'époque du dépôt de l'olistostrome sommital du Miocène moyen. Cette formation n'est pas formellement datée, malgré plusieurs tentatives de biostratigraphie sur nannoplanctons dont tous les échantillons se sont révélés stériles (KERCHAOUI, commentaire écrit). Sachant que la formation de l'oued Ameddah a été datée au Messinien ante-CSM, et que celle-ci est en discordance progressive sur le Miocène moyen, on peut estimer que l'olistostrome sommital s'est déposé entre l'âge de la minéralisation (*ca* 7,8 Ma ; § 9.1.3.b) et le début du Messinien.

On peut donc raisonnablement proposer l'hypothèse que le Miocène moyen, et tout particulièrement son olistostrome sommital, constitue une molasse d'avant-pays dont les blocs proviennent de l'érosion du Domaine Nord.

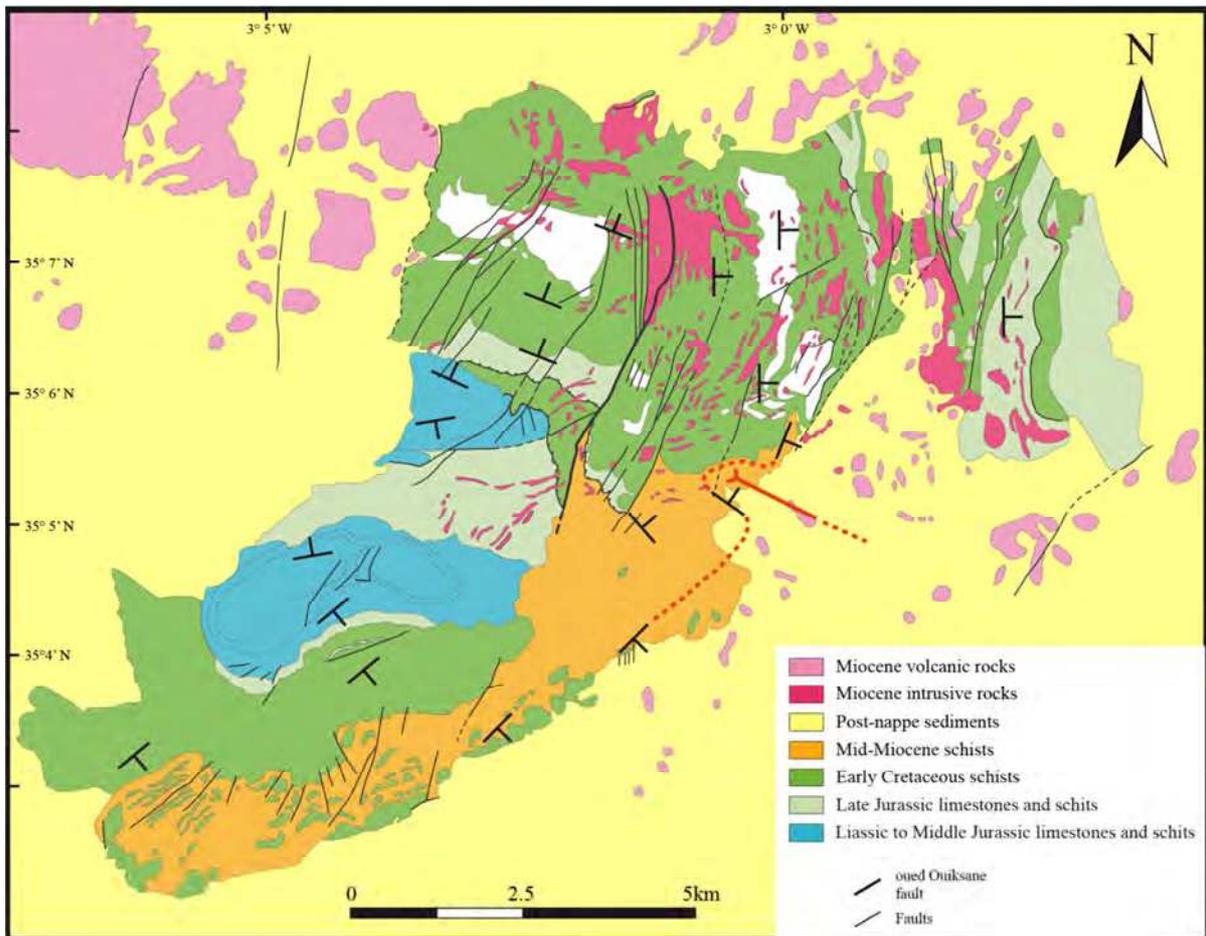
### 12.1.2 La limite Domaine Nord-Domaine Sud

Nous l'avons vu dans la Partie IV, le contact anormal chevauchant est de faible envergure. Il montre en outre un différentiel d'Ouest en Est, où il disparaît complètement pour laisser la place à une discordance cartographique. Les données structurales et la cartographie donnent une forme de dôme anticlinal au Domaine Nord, ce qui a déjà été notifié par

JEANNETTE ET HAMEL (1961) et RHODEN & ERENO (1962). L'oued Ibekouiène constituerait ainsi une terminaison péri-synclinale (Figure 12.2) ; le Miocène moyen étant légèrement discordant sur les terrains crétacés du Domaine Nord, on peut estimer que l'essentiel du plissement des Beni Bou Ifrouer se fait pendant le dépôt du Miocène moyen.

Une pré-structuration en ride allongée en EW est envisageable ; celle-ci se serait produite lors de la mise en place des nappes rifaines à l'échelle régionale et pourrait être à l'origine du léger métamorphisme subi par les unités.

La forme actuelle du dôme anticlinal du Domaine Nord est perturbée par de nombreuses failles normales subméridiennes. Le chevauchement dans la partie occidentale et le rejeu tardif sénestre de ces failles peuvent expliquer sa subdivision en deux secteurs.



**Figure 12.2 :** trace estimée de la terminaison péri-synclinale au niveau de l'oued Ibekouiène.

### 12.1.3 Activité des failles normales subméridiennes

Il est communément admis dans la littérature que la mise en place des intrusions magmatiques au sein du Domaine Nord est liée à une phase d'extension qui produit des failles normales de direction générale NS à NE-SW (JEANNETTE ET HAMEL, 1961 ; RHODEN & ERENO, 1962 ; VILAND, 1977 ; KERCHAOU, 1985, 1994). Or, nous l'avons vu au niveau des gisements, les intrusions ne sont pas syn-tectoniques puisqu'elles sont en effet recoupées par ces mêmes failles et ne présentent en outre aucune foliation magmatique. De même, au sein

des gisements, les évidences montrent que la minéralisation à magnétite (*ca* 7,8 Ma) est affectée par les failles normales sans jamais être guidées par celles-ci : réorientation des septa, du stockwerk, carapace à magnétite utilisée comme zone de faiblesse...

Si elles sont particulièrement bien exprimées au niveau des gisements et dans l'ensemble du Domaine Nord, ces failles normales se retrouvent dans tout le massif. Elles affectent notamment la formation marine de l'oued Ameddah, que nous avons datée au Messinien ante-CSM (§ 11.3). MOREL (1987) y a relevé des critères marquant à la fois un jeu syn-sédimentaire et post-lithification. Par ailleurs, l'olistostrome sommital du Miocène moyen reflète une période d'érosion liée au soulèvement du massif des Beni Bou Ifrou, lui-même semblant dû à un plissement de type avant-pays (et donc en contexte compressif). Ainsi, l'activité des failles normales subméridiennes se produit en grande partie après le dépôt des olistolithes, soit après 7,8 Ma. Rappelons que dès 8 Ma environ, le contexte géodynamique régional est de nouveau contrôlé par une compression NS ; ces failles normales accommodent donc l'exhumation du massif des Beni Bou Ifrou.

Un basculement affecte l'ensemble de la série stratigraphique (dont l'oued Ameddah) avant les dépôts transgressifs discordants du m6 (donné Tortonien supérieur *pro parte* à Messinien). Ce basculement est également visible dans le Domaine Nord où au niveau de Axara, la stratigraphie est fortement redressée et les failles normales plus plates que leurs équivalentes à Ouiksane et Setolazar. Nous avons attribué cette variation de pendage à la conjugaison du jeu de l'accident de l'oued Ouiksane et à un basculement postérieur (cf. § 10.1.1). Il existe donc une phase compressive postérieure à la période d'activité de ces failles normales, qui rejouent au sein des gisements avec une composante décrochante sénestre.

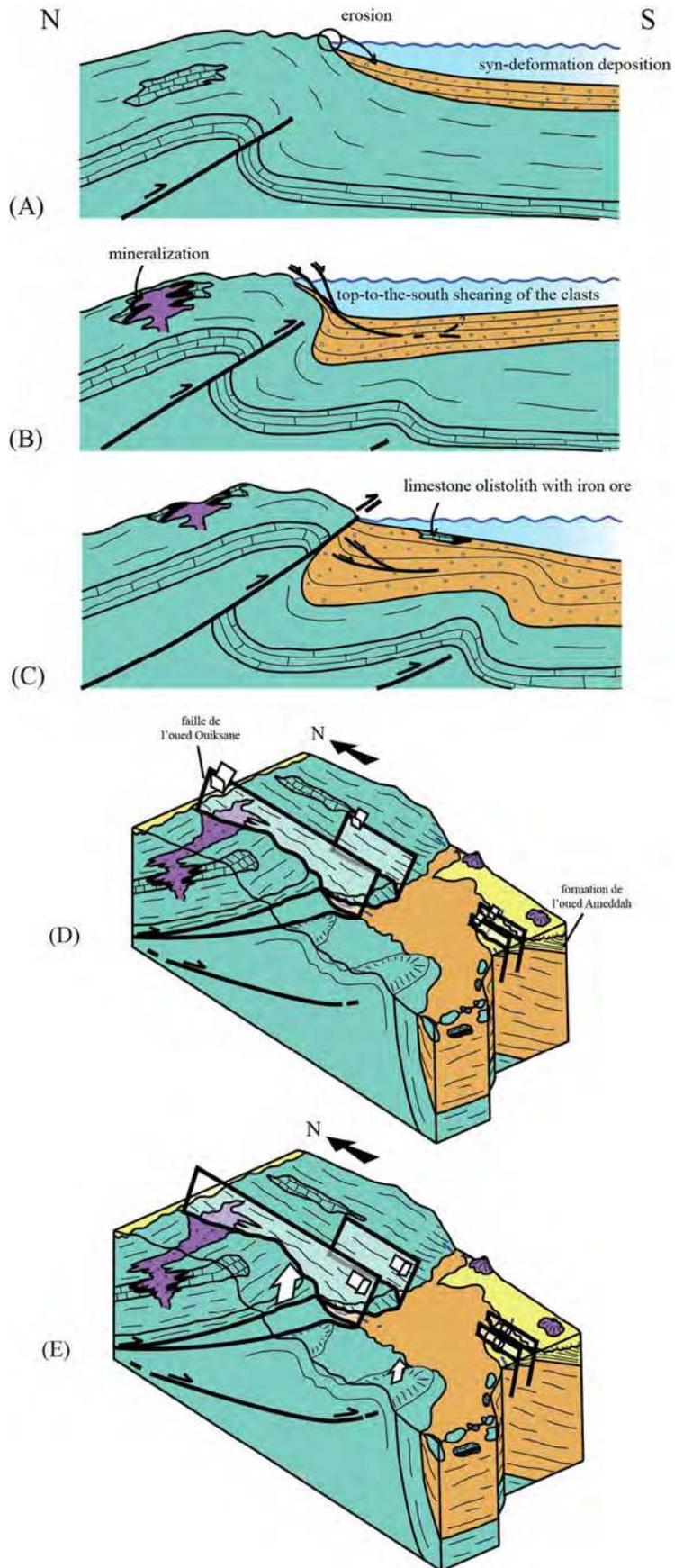
## 12.2 Modèle tectono-sédimentaire pour les Beni Bou Ifrou

Les arguments exposés ci-dessus nous permettent de proposer le modèle suivant pour l'évolution tectono-sédimentaire et magmatique du massif des Beni Bou Ifrou (Figure 12.3) :

(1) La mise en place des nappes rifaines à l'échelle régionale est probablement la cause du faible métamorphisme enregistré dans le massif. Dans le Rif oriental, elle se fait au Tortonien. Il est possible que cette phase ait généré au niveau des Beni Bou Ifrou les prémisses de rides anticlinales orientées en EW.

(2) Les bassins sédimentaires post-nappes du Rif oriental s'individualisent également au Tortonien. Le socle régional est alors pré-structuré en horsts (les massifs) et en grabens (les bassins). Quelques failles normales méridiennes que l'on trouve aujourd'hui dans les Beni Bou Ifrou pourraient avoir été créées à cette époque ; s'il n'y a pas d'évidences de failles tortoniennes dans les Beni Bou Ifrou, on ne peut exclure que de telles failles aient rejoué lors des phases ultérieures.

(3) A *ca* 8 Ma, la compression NS est de nouveau enregistrée dans l'orogène bético-rifain. Le raccourcissement s'exprime sous la forme d'un plissement d'axe EW au niveau des Beni Bou Ifrou. Ce plissement est synchrone du dépôt des sédiments du Miocène moyen (Figure 12.3 A). En effet, cette formation est impliquée dans une terminaison péri-synclinale au niveau du site de l'oued Ibekouiene, où la discordance angulaire sur les flancs mésozoïques du Domaine Nord reste limitée. Par ailleurs, la présence d'éléments détritiques dès la base de la série du Miocène moyen implique que l'érosion du massif est déjà active à cette période.



**Figure 12.3 :** évolution tectono-sédimentaire du massif des Beni Bou Ifrou (voir explications dans le texte).

(4) Presque immédiatement, les magmas se mettent en place et s'accumulent dans le bombement anticlinal sous la forme d'un arbre de Noël (Figure 12.3 B). Cette accumulation de magma peut avoir pour effet l'accentuation du dôme. Les magmas réagissent avec les fractions carbonatées de l'encaissant et les minéralisations se déposent à leur tour. Pendant ce temps, le plissement d'avant-pays s'accroît, et sous l'élévation du relief l'érosion s'intensifie. La schistosité (et les recristallisations) des formations du Miocène moyen évoquent l'action de glissements gravitaires d'une série épaisse dont une partie a été soit érodée, soit glissée vers l'avant-pays (traces dans l'olistostrome ?).

(5) A mesure que le plissement d'avant-pays se poursuit, le relief continue de s'élever et les terrains mésozoïques commencent à chevaucher les schistes du Miocène moyen. Au niveau du Domaine Nord, les minéralisations et les intrusions magmatiques sont exhumées et érodées dans la formation détritique (Figure 12.3 C). La migration vers le Sud de la déformation et des plis déplace cette molasse d'avant-pays dans cette même direction.

(6) Une période de forte subsidence voit le massif tronçonné par une multitude de failles normales subméridiennes (Figure 12.3 D), dont le jeu vertical accentue très largement l'altitude générale du massif et particulièrement celle du Domaine Nord, tout en accommodant son exhumation. Parmi elles, la faille de l'oued Ouiksane est majeure. Probablement héritée depuis une phase antérieure au regard de son importance, elle sépare le bombement anticlinal du Domaine Nord en deux parties (secteurs nord-occidental et nord-oriental). Le dépôt de la formation de l'oued Ameddah, synchrone de cette phase, marque une pause de l'érosion dans le massif des Beni Bou Ifrou.

(7) Quelques incréments compressifs tardifs provoquent le jeu des failles normales en failles décrochantes sénestres, ainsi qu'un basculement de l'ensemble des séries (Figure 12.3 E). Ce jeu le long de la faille de l'oued Ouiksane pourrait expliquer la rotation observée des orientations du secteur nord-oriental.

L'exhumation des Beni Bou Ifrou résulte donc de l'action conjuguée d'une tectonique d'avant-pays et du jeu vertical en touches de piano des failles normales subméridiennes qui affectent le massif. L'ensemble de ces événements se produit dans une fourchette de temps relativement restreinte ; nos nouvelles données géochronologiques permettent ainsi de caler l'histoire de l'exhumation du massif des Beni Bou Ifrou dans un court intervalle de temps, entre 8 et 6 Ma environ.

### **12.3 Intégration des minéralisations au modèle – implications métallogéniques**

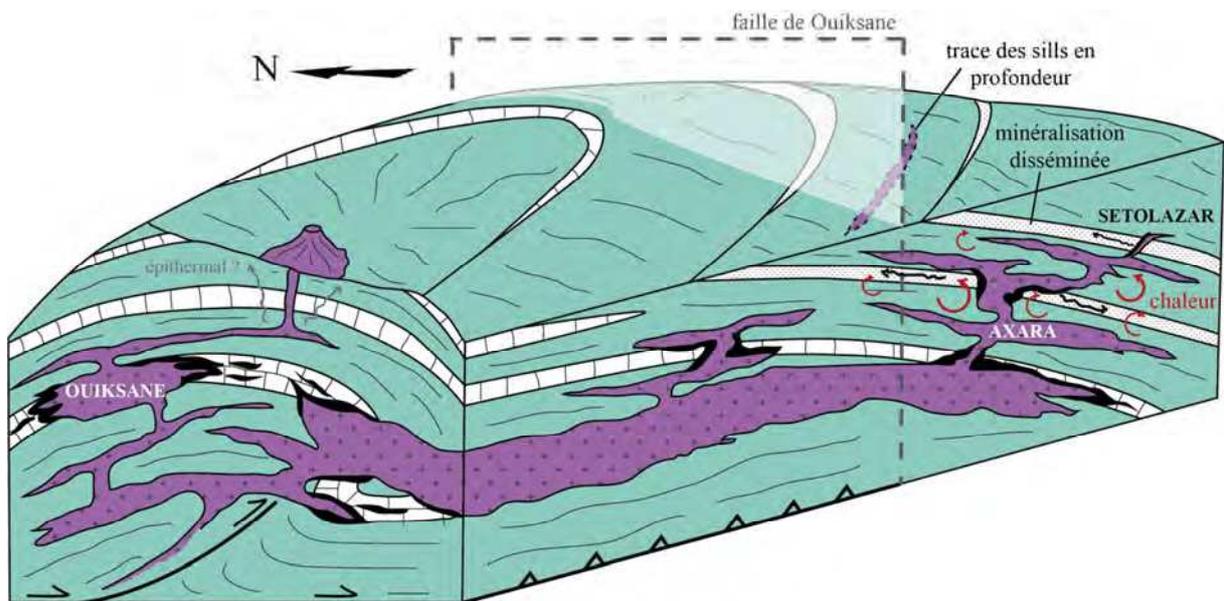
L'étude des gisements de Ouiksane, Axara et Setolazar s'est révélée cruciale dans l'établissement du modèle, notamment parce que la géométrie des minéralisations nous a apporté de précieux renseignements pour comprendre l'évolution du Domaine Nord dont la structure, compliquée par la tectonique fragile messinienne, est difficile à appréhender.

Par ailleurs, la caractérisation du magmatisme auquel les minéralisations sont associées nous a permis d'en déduire le modèle en arbre de Noël (Figure 12.4). Cette disposition explique particulièrement bien les disparités des modalités de mise en place des trois gisements. Le gisement de Ouiksane se situe plus profondément dans la série stratigraphique, là où de grosses lames intrusives telles que l'Intrusion Centrale se mettent en place. Axara se situe presque au même niveau que Ouiksane, en tout cas dans sa partie NW,

relié au travers de l'accident de l'oued Ouiksane. A mesure que l'on atteint le sommet de la séquence, la taille des intrusifs se restreint et ils prennent un caractère plus lavique.

D'un point de vue métallogénique, cette disposition permet en outre d'expliquer la différence d'expression des minéralisations, particulièrement massive à Ouiksane où un gros corps magmatique minéralisateur entre directement en contact avec un banc carbonaté avec lequel il réagit. A Axara et surtout à Setolazar, ce contact est moins direct et la minéralisation est plus diffuse, non seulement dans les bancs carbonatés, mais aussi dans les termes schisteux de l'encaissant (exoskarns). Les circulations hydrothermales doivent en effet y être accentuées par l'effet « radiateur » de l'arbre de Noël, ce qui explique pourquoi à Setolazar *s.s.* par exemple, aucune intrusion minéralisatrice n'est visible aux abords de l'imposante bande minéralisée. Malgré tout, le contrôle stratigraphique est omniprésent sur les minéralisations de l'ensemble du massif ; le système est donc probablement relativement superficiel.

Enfin, cette géométrie est compatible avec le développement de minéralisations de type épithermales, synchrones des minéralisations plus profondes de type skarn et par la suite télescopées au même niveau structural. Bien sûr, ces veines épithermales pourraient résulter d'un évènement minéralisateur ultérieur, par exemple lié à la transition entre le volcanisme calco-alcalin et le volcanisme alcalin. Rappelons cependant que la galène d'Afra montre une affinité isotopique du Pb forte avec celui de l'Intrusion Centrale, et que l'âge du volcanisme duquel elle dérive n'est pas beaucoup plus jeune (7,93 Ma pour 7,98 Ma à Ouiksane, âges  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ ). Par ailleurs, quelques barytines et oxydes de manganèse se trouvent au sein même des skarns, ce qui montre la probable évolution des fluides vers l'épithermal au cours d'un même évènement minéralisateur.



**Figure 12.4 :** bloc-diagramme schématique intégrant les minéralisations de Ouiksane, Axara et Setolazar au sein du Domaine Nord.



## **Partie IV**

**Les minéralisations des Beni Bou  
Ifrou, traceurs du contexte  
géodynamique de Méditerranée  
occidentale**



**E**ntre les minéralisations et le contexte géodynamique, c'est un peu *Chicken or Egg* ? On sait que les concentrations de ressources minérales sont le résultat de processus géologiques impliqués lors d'une ou de plusieurs phases du cycle de Wilson. Connaître le contexte géodynamique – et donc la phase du cycle – permet ainsi d'imaginer le potentiel en terme de types de gisement à prospector. A l'inverse, les minéralisations peuvent s'avérer de précieux atouts pour « remonter » au contexte géodynamique lorsque celui est mal connu ou mal compris.

Utiliser les minéralisations des Beni Bou Ifrour comme traceurs du contexte géodynamique complexe de Méditerranée occidentale, tel était l'ambition de ce travail de recherche présenté dans ce dernier chapitre :

Chapitre 13 : Intégration des minéralisations des Beni Bou Ifrour : du Rif oriental à la Méditerranée occidentale

