

# Analyses U-Pb sur zircon détritiques des unités de flyschs

## 4.1. Description des échantillons

Les unités de flysch que l'on retrouve dans l'ouest des Cordillères Bétiques et dans le Rif et ont été échantillonnées dans les formations massyliennes d'Aljibe et du Numidien et les formations maurétaniennes d'Algeciras et de Beni Ider (Fig. 13). D'autres formations détritiques silicoclastiques propres aux zones externes des Cordillères Bétiques ont aussi été échantillonnées comme la formation crétacée d'Ubrique ou le Paléogène et les séries du Crétacé inférieur des subbétiques.

Les échantillons ont été préparés pour analyse au laboratoire GET à Toulouse selon le protocole classique de broyage séparation décrits dans le Chapitre 4 de cette thèse. Les fractions contenant les zircons ont ensuite été analysés à l'UT Geo-and Thermochronometry Laboratory de l'université d'Austin au Texas.

Pour cette étude, 23 échantillons ont été analysés. La position stratigraphique et géographique des différents échantillons est indiquée sur la figure 13. Parmi ces 23 échantillons, dix ont été échantillonnés dans des séries dont l'âge de dépôt est Miocène inférieur. Ces échantillons appartiennent aux unités d'Algeciras/Beni-Ider (RON2, CPG4, M5) et d'Aljibe/Numidien (RON1,4,8, CPG2,6, M6) et aux subbétiques (RON3). Neuf échantillons proviennent des sédiments Crétacé inférieur des formations de Nogales, Camarote et Ubrique dans les Bétiques (CPG1, 7, RON5), et des formations du Djebel Tisiren (M3, 7, 10), de Meloussa-Chouamat dans le Rif (M1, 8) et un dernier appartient aux subbétiques centraux (VLP3), dans la région de Jaen qui n'a pas pu être représenté sur cette carte. Deux échantillons ont été prélevés dans des niveaux carbonatés détritiques d'âge Paléogène dans les subbétiques (RON10) et dans l'unité de type flysch d'Arguelles (CPG8). Pour finir, deux échantillons ont été prélevés dans les unités internes, le premier dans la formation des quartzites de Benarraba de l'unité Alpujarride et le second dans des niveaux de grès Devonien-Carbonifère de l'unité Malaguide.

Sur ces 23 échantillons, 3070 grains ont été analysés. Sur ces âges n'ont été sélectionnés que ceux dont la discordance ne dépassait pas la valeur seuil de 10%. Pour les âges inférieurs à 850Ma, la discordance reportée correspond à la discordance entre l'âge  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  et l'âge  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ . Pour les âges supérieurs à 850Ma la discordance est mesurée entre les âges  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  et  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . L'âge reporté dans la colonne « best age » correspond à l'âge  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pour les âges  $>850\text{Ma}$ , et à l'âge  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  dans les autres cas. Pour tous les échantillons hormis VLP3 (N=108), le nombre de grains est suffisant statistiquement pour discuter les provenances sédimentaires (Vermeesch, 2004).

Dans un premier temps, les échantillons ont été regroupés par âges stratigraphiques et par formation pour en identifier les populations caractéristiques et comparer les répartitions d'âge caractéristiques de chaque formation.

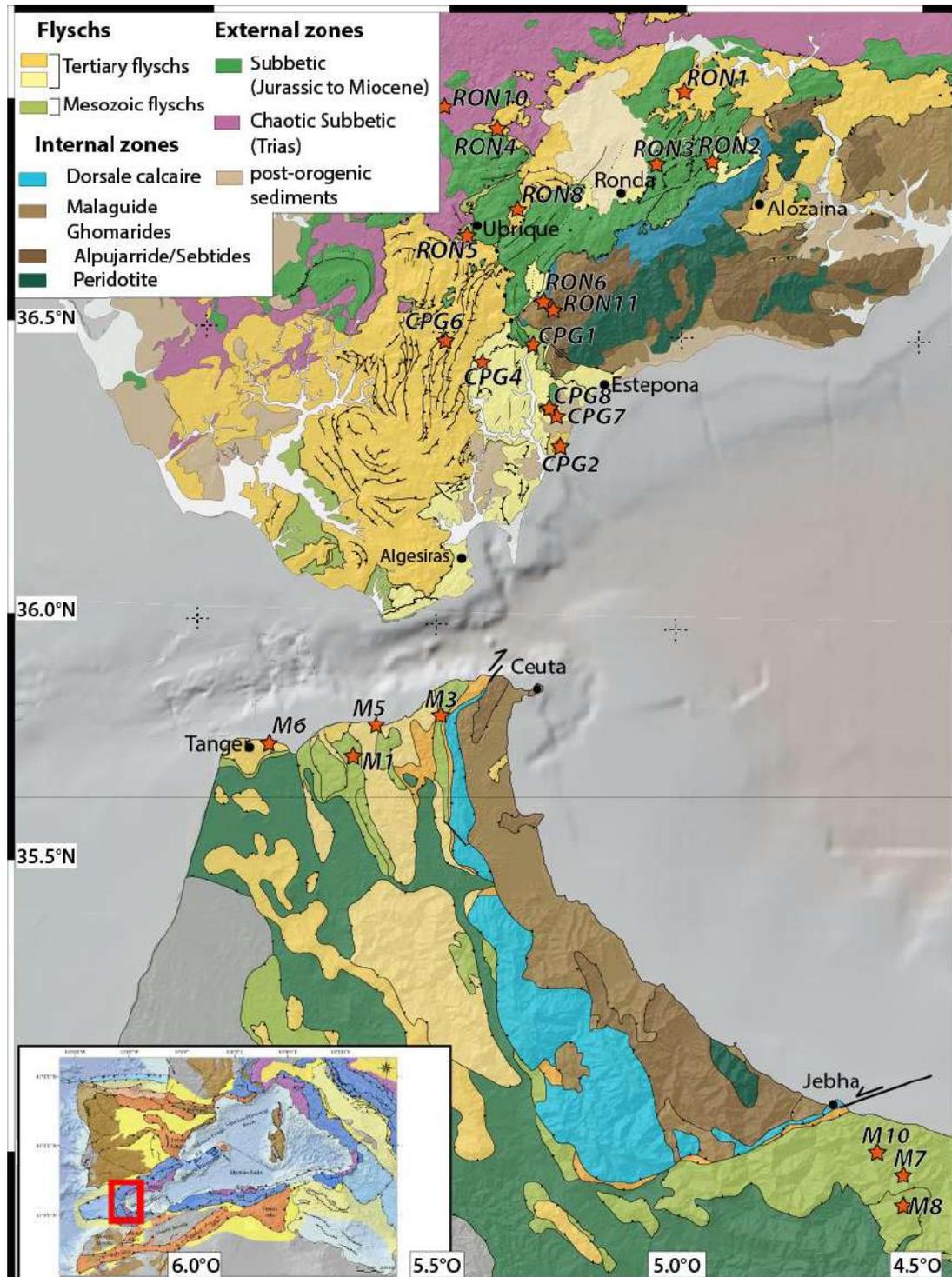


Figure 13: Carte géologique des Bétiques et du Rif, d'après les cartes géologiques au 1:50 000 pour l'Espagne et Zaghoul et al. (2002) pour le Rif. La localisation des échantillons analysés en U-Pb sur zircon est indiquée par les étoiles rouges.

## 4.2. Description pétrographique

Dans ce chapitre je décris, à partir de l'observation de lames minces, la composition pétrographique de 14 des échantillons de flysch. Les échantillons ont été sélectionnés dans les formations de flysch tertiaires d'Algèrises et de Beni-Ider (CPG4, RON2, RON3, M5), d'Aljibe et du Numidien (CPG6, RON8, M6). Mais aussi dans les formations crétacées de Nogales, Camarote, Tisiren (CPG7, CPG1, M10), de Meloussa-Chouamat (M8), d'Ubrique et aux Malaguides (RON6). Enfin une lame mince a été réalisée sur l'échantillon crétacé inférieur des subbétiques centraux (VLP3). Quelques-unes de ces lames sont présentées sur les Figures 14 et 15.

Les échantillons CPG4 et RON2 et M5 (Fig. 14) se caractérisent par une granulométrie assez fine et une composition générale immature (Folk, 1968). Ils se composent en plus du quartz, en quantité substantielle, de muscovites, de feldspaths, et d'un ciment calcitique. Ces échantillons se caractérisent aussi par une altération assez poussée des feldspaths et des grains de quartz. Les ressemblances de premier ordre entre ces échantillons appuient leur appartenance à une même formation. Les échantillons des formations Numidienne et d'Aljibe sont essentiellement composés de quartz. La taille des grains dans ces échantillons est extrêmement variable. Une famille de grains de diamètre compris entre environ 200 $\mu\text{m}$  à plus de 400 $\mu\text{m}$ . Ces grains ont des morphologies très arrondies indiquant un transport éolien (Folk, 1968, Garzanti, 2017) bien que leur taille soit supérieure à la granulométrie moyenne des sables éoliens (Rodríguez-López et al., 2006). Ces grains se caractérisent aussi par leur structure caractéristiques liées au mode de déformation ductile du quartz comme par exemple la migration aux joints de grain (GBM), rotation de sous grains (SGR) ou du « bulging ». Ces différents modes de déformation sont caractéristiques de la température et de la quantité de déformation (Stipp et al., 2002) indiquant que certains des grains de quartz recyclés dans les turbidites d'échantillons numidiens ont atteint des températures supérieures à 500°C, avant le Miocène inférieur.

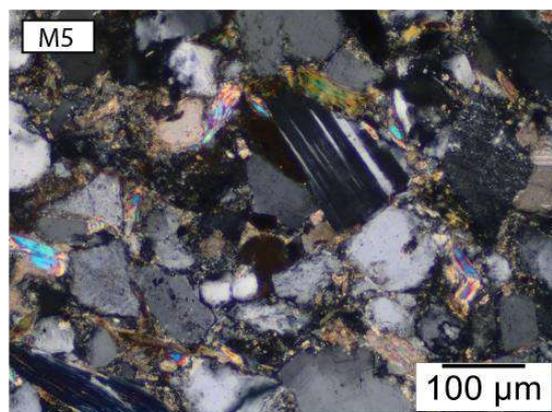
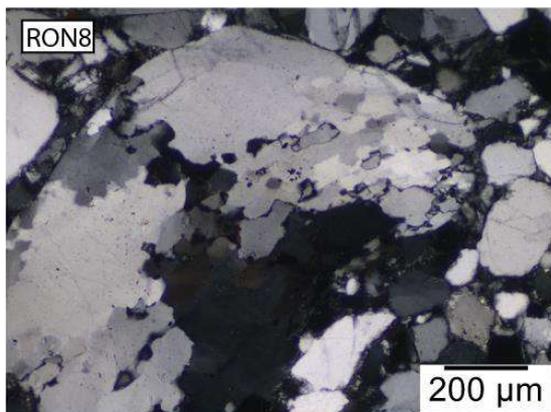
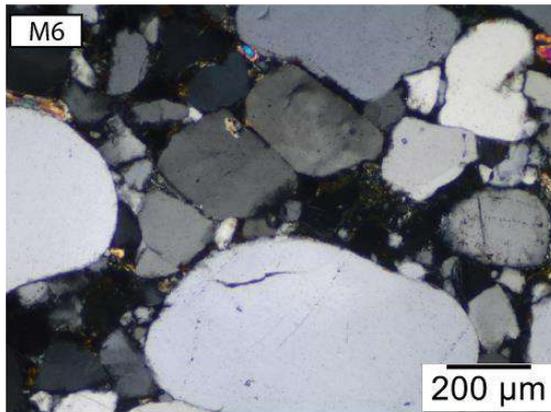
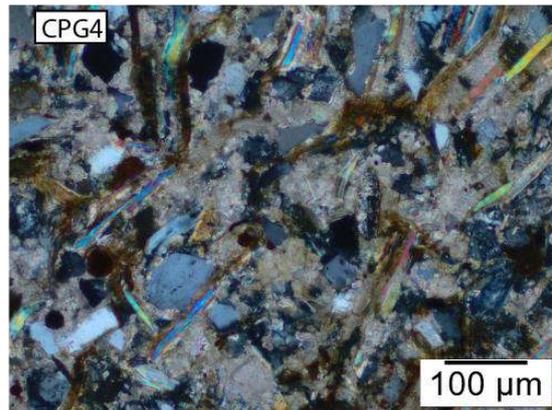
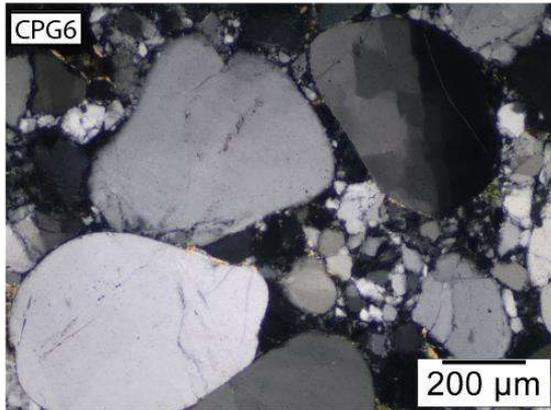


Figure 9: Photographies en LPNA des échantillons provenant des turbidites d'âge Miocène inférieur des formations massylienne et maurétanienne dans le Rif (M6, M5), et dans les Bétiques (CPG6, RON8, RON3, RON3).

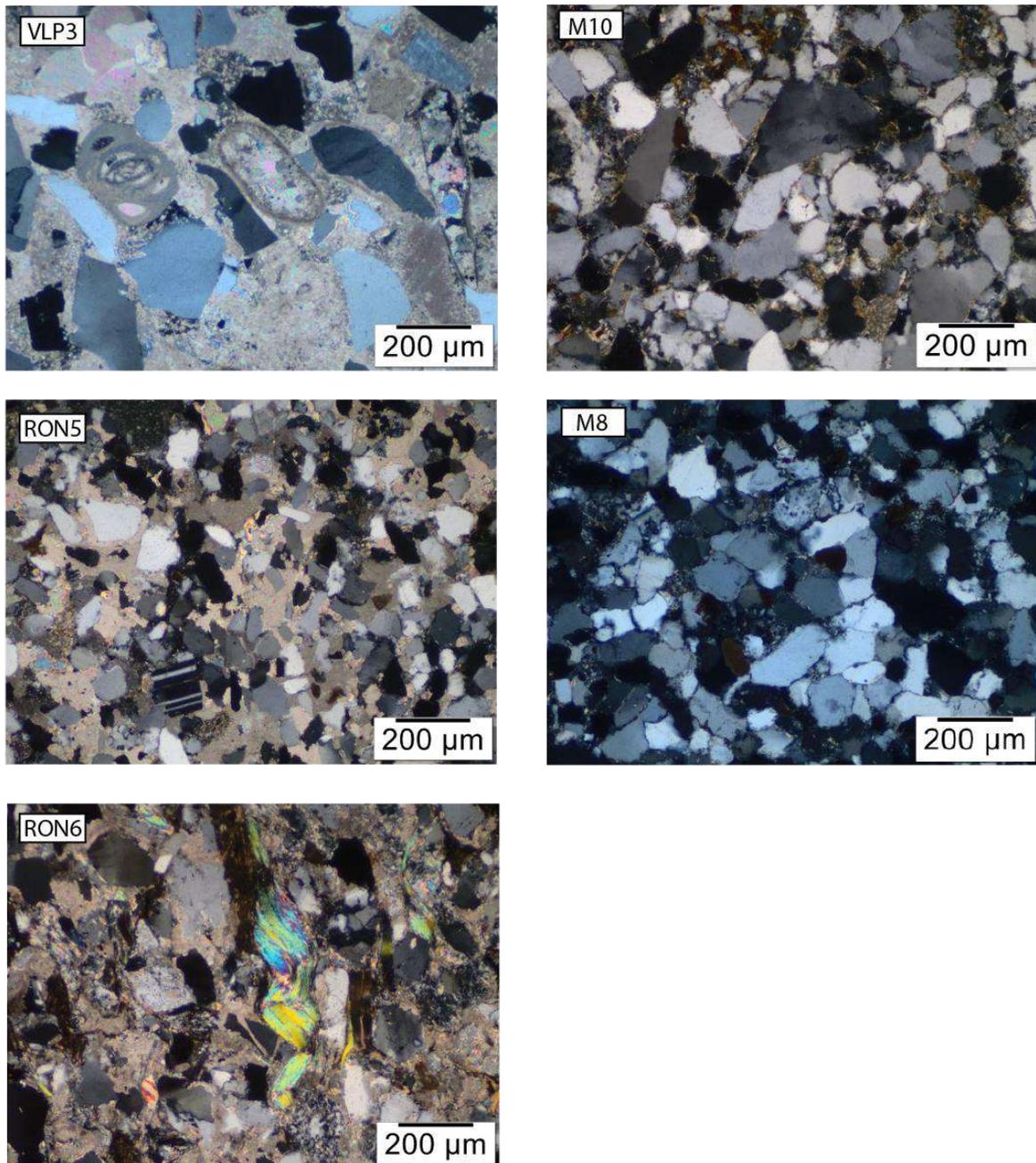


Figure 14: Photographies en LPNA des échantillons provenant des turbidites Crétacé inférieur des formations massylienne et maurétaniennes dans le Rif, (M8-M10) ; dans la formation d'Ubrique (RON5) et dans les Subbétiques centraux (VLP3) et dans les zones internes Bétiques (unité Malaguide (RON6)).

Les échantillons des formations massylienne et maurétanienne du Crétacé sont caractérisés par des compositions riches en quartz. Les grains sont assez jointifs, particulièrement pour M8, en raison de la recristallisation de quartz dans la porosité et aux limites de grains, probablement dues à des circulations de fluides. Pour l'échantillon M10, provenant de la formation du Jebel Tisiren, les grains

sont un peu moins jointifs, avec des microcristaux, probablement de muscovite entre les grains de quartz. La granulométrie est assez fine, la taille moyenne des grains de quartz n'est pas supérieure à 200µm et les grains sont plus anguleux que pour les échantillons numidiens. Certains grains de quartz montrent une déformation de type SGR (Fig. 10, échantillon M10) mais aucune étude exhaustive n'a été menée pour caractériser le degré de métamorphisme atteint par ces quartz.

Pour ce qui est des autres échantillons d'âge crétacé, RON5 (Fig. 15) présente de rares cristaux de feldspaths, et des grains de quartz anguleux de granulométrie assez fine. Le ciment est majoritairement carbonaté, probablement en partie secondaire et liée à l'altération des feldspaths et du quartz. VLP3 est très différent de ce que l'on a pu observer dans les autres échantillons de flyschs, ce grès se caractérise par la présence d'oolithes et d'autres concrétions calcaires non identifiées, de foraminifères planctoniques (Milioles). Ces turbidites sont probablement déposées dans un milieu assez proximal, remaniant des oolithes et milioles de la plateforme interne. Ces caractéristiques sont en accord avec la présence de bioturbations, de figures d'échappement de fluide et de fragments ligneux observables macroscopiquement.

Enfin, l'échantillon RON6 prélevé dans des grès Dévono-Carbonifères de l'unité de Malaguide se caractérise par une composition assez hétérogène, riche en quartz et feldspaths, compatible avec l'érosion de terrains magmatiques. Les muscovites syn-déformation, l'orientation préférentielle des minéraux et l'altération importante des grains de quartz et de plagioclase marquent la circulation de fluides chauds en accord avec le métamorphisme hercynien dans le faciès schistes verts ayant affecté les Malaguides.

### **4.3. Distribution des âges U-Pb sur zircons**

#### **4.3.1. Echantillons Cénozoïques**

Les distributions des échantillons du Numidien (RON1,4,8, CPG2,6, M6) (Fig 15), sont assez similaires avec une population majeure Néoprotérozoïque (602 et 576Ma) (47 à 54%) et une population Paléoprotérozoïque entre 1870 et 2048 Ma (18-24%) et enfin une dernière population très minoritaire caractérisée par des grains archéens (~2500-3300 Ma) (<10%) (Fig. 16). Les âges inférieurs à 350 Ma sont quasiment absents des échantillons Numidiens, mais on note la présence de grains d'âge Miocène inférieur (~20-22Ma) dans l'échantillon RON4.

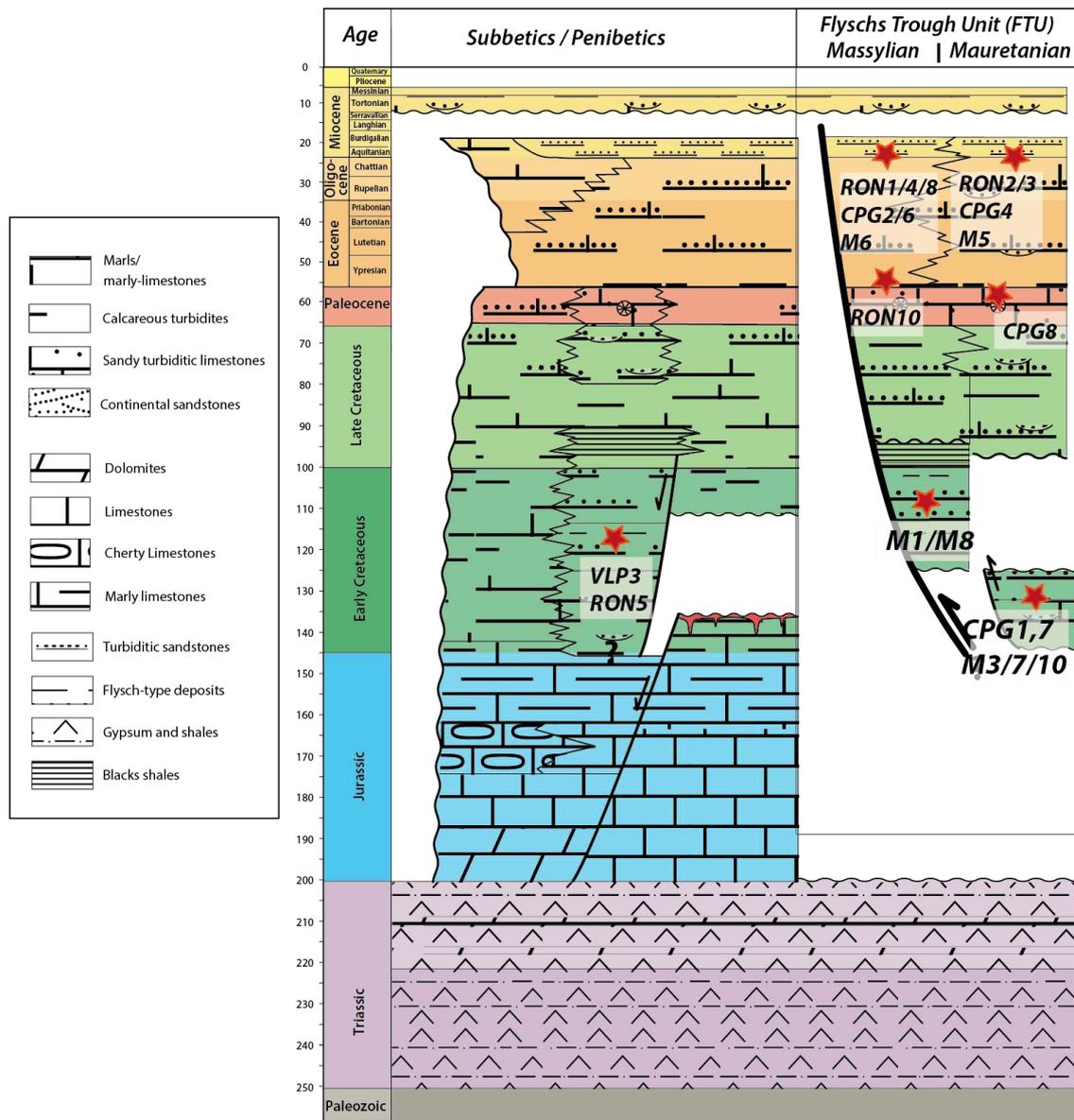


Figure 15: Stratigraphie des unités de flyschs et des zones externes des Bétiques et positions stratigraphique des échantillons mésozoïques et cénozoïques analysés (étoiles rouges). Les échantillons provenant du Rif ont été regroupés avec leurs homologues des Cordillères Bétiques.

La formation d'Algeciras/Beni Ider présente une variabilité interne plus importante. On retrouve dans ces échantillons, deux populations majeures, la première correspondant à l'orogénèse Panafricaine (522-612Ma), qui représente 38 à 53% des grains selon les échantillons et un deuxième d'âge Hercynien, (290-330Ma) qui représente entre 13 et 29% des grains. Les populations, archéennes et paléoprotérozoïques sont plus secondaires mais toujours présentes. Les échantillons CPG4 et M5 (Fig. 15) présentent une population remarquable à 34Ma (>10%). Cette population est absente des échantillons RON2 et RON3 qui se caractérisent par une population néoprotérozoïque (~1000 Ma). Dans le Chapitre 4, nous avons déjà considéré l'échantillon RON3 comme appartenant à

l'unité d'Algeriras (Fig. 15) et re-sédimenté dans la formation des argiles à blocs. Cette hypothèse est donc semble-t-il confirmée par sa signature U-Pb sur zircon.

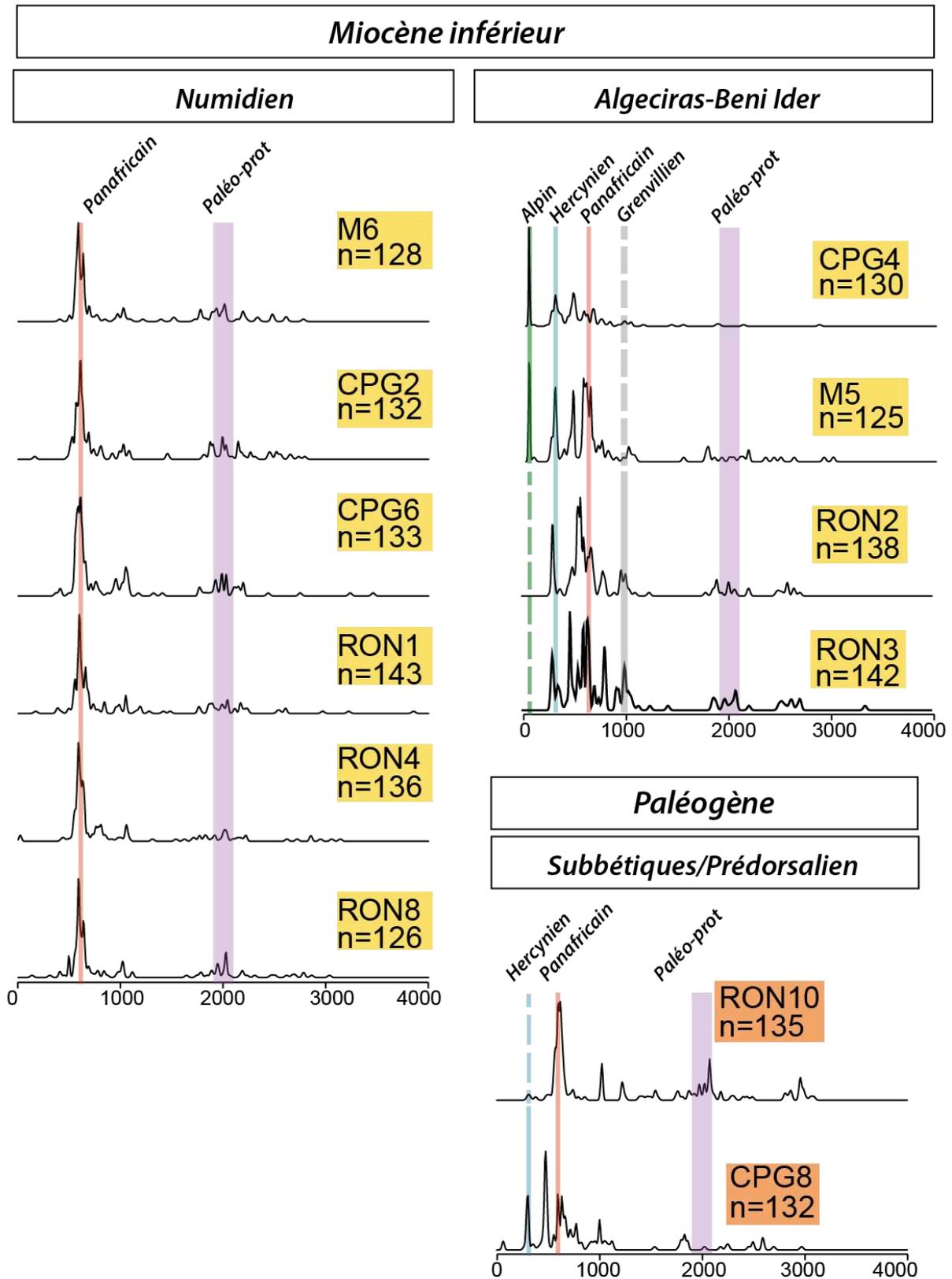


Figure 16 : Diagramme KDE des âges U-Pb sur zircons pour les échantillons tertiaires (Miocène inférieur) des formations Numidienne et d'Algeriras-Beni Ider.

Pour les échantillons paléogènes, RON10 qui appartient aux subbétiques (Fig. 15) a une répartition assez similaire à la répartition observée dans les échantillons du Numidien avec une population majeure panafricaine (~611Ma) (48%) et autour de 2000Ma (25%), et des populations mineurs, à 3 Ga, 1.2 Ga et 322 Ma. La répartition d'âge pour CPG8 qui appartient aux unités prédorsaliennes est significativement différente. Les deux populations majoritaires sont d'âge Panafricain (658Ma) (49%) et Hercynienne (378Ma) (32%) le reste des grains forment des populations minoritaires d'âge Crétacé supérieur-Paléogène inférieur (64Ma), Paléoprotérozoïque et Archéenne.

#### 4.3.2. Echantillons Mésozoïques

Les échantillons Crétacé inférieur (CPG1,7, M1,3,6,7,10) (Fig. 15) les courbes de distribution (KDE) ont des allures identiques que l'échantillon provienne de la formation Massylienne de Meloussa-Chouamat ou de la formation Maurétanienne et Prédorsalienne du Djebel Tisiren et de Camarote (Fig. 17).

On observe une population majeure Panafricaine, comprise entre 568 et 612 Ma (47 à 62%). La répartition des âges plus anciens est assez variable selon les échantillons et est caractérisée par une population autour de 2000 Ma qui représente 18 à 26% des âges. Parmi les populations mineures, on note la présence dans tous les échantillons d'une population Mésoprotérozoïque entre 1100 et 1300 Ma environ et d'une population hercynienne (~350Ma) présente uniquement dans les échantillons M7, M3, CPG7, CPG1 et M1. En revanche, pour les échantillons Crétacé RON5 de l'unité d'Ubrique et VLP3 appartenant à la formation Cerrajon des zones externes des Bétiques, les répartitions sont clairement différentes. Pour RON5, on observe trois populations majeurs à 650 Ma (37%) 480 Ma (29%) et 336 Ma (18%) en plus des populations paléoprotérozoïque et archéenne. Pour l'échantillon VLP3, la population majeure est formée par des zircons d'âge hercynien autour de 300 Ma (57%) et la population Panafricaine (~600Ma) ne représente que 19% du total des âges.

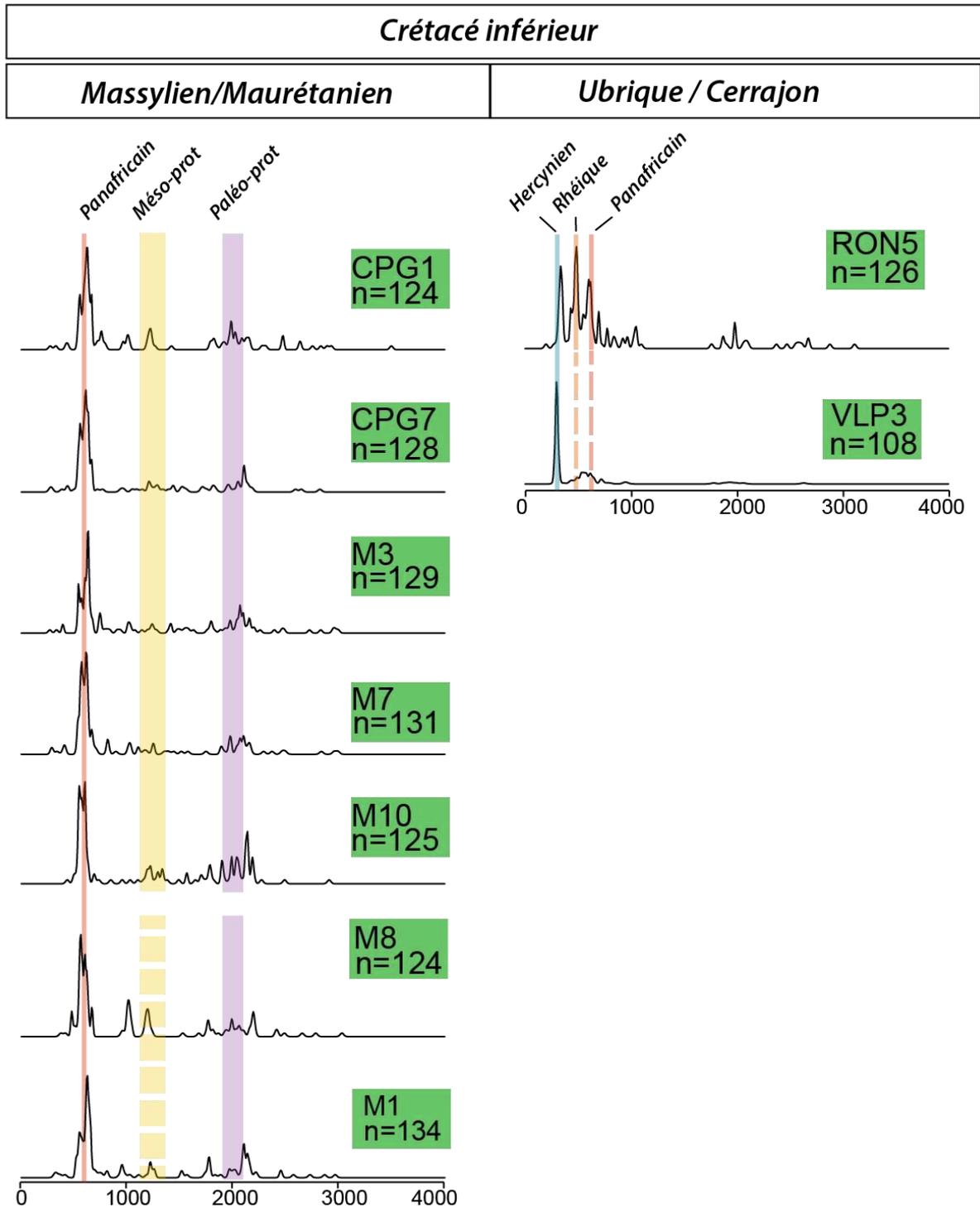


Figure 17: Diagramme KDE des âges U-Pb sur zircons pour les échantillons Mésozoïques (Crétacé inférieur) des formations massyliennes (Meloussa-Chouamat), maurétaniennes/prédorsaliennes (Nogales, Jebel Tisiren, Camarote) et des zones externes des Bétiques (Ubrique, Cerrajon).

#### 4.3.3. Echantillons Paléozoïques

La répartition des âges pour l'échantillon RON6 des Malaguides peut être décomposée en deux populations majeures. Une population Panafricaine autour de 600Ma (50%) et une d'âge

paléoprotérozoïque (26%). Pour l'échantillon RON11, on observe de la même façon une population panafricaine (577Ma) (46%) et une méso- à néoproterozoïque autour de 1000Ma (Fig. 18). Les grains restants forment des populations minoritaires, hercyniennes, paléoprotérozoïque et archéennes.

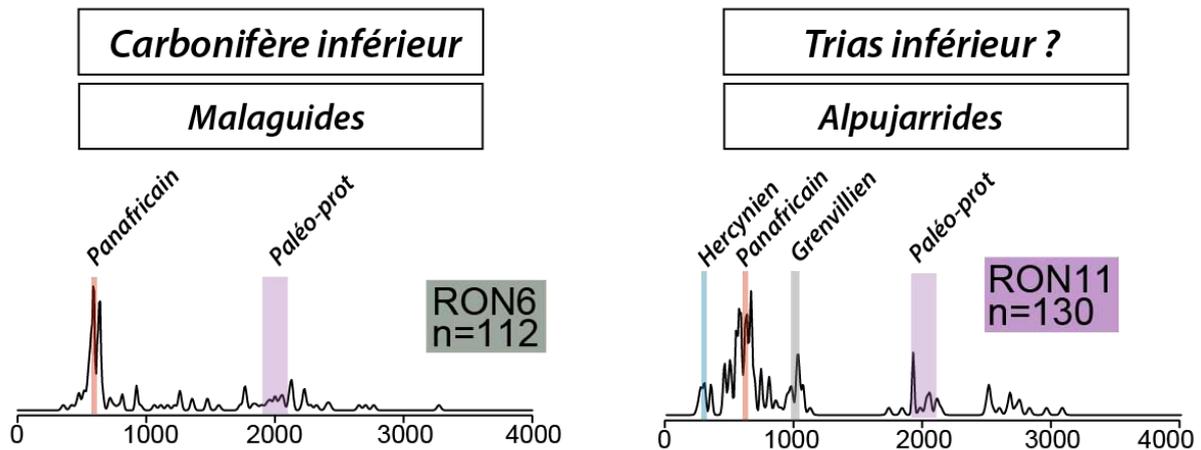


Figure 18: Diagramme KDE des âges U-Pb sur zircons pour les échantillons des zones internes des Bétiques (unités des Alpujarrides (RON11) et des Malaguides (RON6)).

En résumé, sur la base des populations définies par le logiciel DensityPlotter (Vermeesch et al., 2012) ainsi que nos observations, on individualise cinq groupes d'échantillons (Fig. 19):

- ❖ Un premier groupe (Groupe 1) constitué des échantillons **RON3, RON2 et RON11** caractérisé, en plus d'une population hercynienne (~300Ma), par une population néoproterozoïque (~1000 Ma) importante.
- ❖ Un second groupe (Groupe 2) toujours dans la formation d'Algeciras/Beni-Ider (**CPG4-M5**) se caractérise aussi par une population hercynienne et par la présence de grains jeunes entre 40 et 27.5 Ma.
- ❖ Un groupe assez large (Groupe 3) est constitué par les échantillons provenant des niveaux d'âge Crétacé inférieur des séries Massyliennes et Maurétaniennes (**CPG1, CP7, M1, M8, M10, M7, M3**) du Paléogène subbétique (**RON10**) et du Carbonifère de Malaguide (**RON6**) caractérisé par une population assez peu marquée au mésoproterozoïque (1000-1600Ma) et une population de ~600 Ma.
- ❖ Un quatrième groupe (Groupe 4) est constitué des échantillons d'Aljibe/Numidien (**RON1, RON4, RON8, CPG2, CPG6, M6**) caractérisé par la prépondérance de la population Panafricaine de ~600Ma. Ces échantillons ne présentent pas cette population et dans tous les cas sauf un (M6) contiennent des grains Aquitaniens.
- ❖ Un dernier groupe (Groupe 5) est formé par les échantillons **CPG8, VLP3 et RON5** qui ont des répartitions d'âges plus particulières.