



M. Chevalier



Âge et rythmes de construction d'une vallée du versant méridional des Pyrénées Orientales, cas du Valira del Nord (Principauté d'Andorre), à partir de données d'isotopes cosmogéniques (²¹Ne et ¹⁰Be)



Valentí Turu i Michels¹ & Juan Ramón Vidal-Romani²

(1) Foundation Marcel Chevalier, Av. Príncipe Benloch 66, AD500, Principauté d'Andorre
(2) Universidade A Coruña, A Zapateira (s/n) 15071 A Coruña, Espagne

INTRODUCTION

L'échantillonnage de veines à quartz de différentes surfaces d'érosion ont été faites en 2002 (Fig. 1) pour obtenir du néon et béryllium cosmogénique (²¹Ne, ¹⁰Be). Le but était de dater les phases du dernier cycle glaciaire qui, du même que pour le reste des vallées des Pyrénées méridionales (Bordonau, 1992), est censé avoir formé la vallée andorrane. Les résultats obtenus en 2004, spécialement des isotopes de ²¹Ne, diffèrent considérablement de ce qui était attendu. La prudence convenait alors de garder ces données jusqu'à ce que la bibliographie soit plus riche en cas similaires. Un premier exposé des résultats a été fait en 2009 dans l'excursion annuelle de l'AFEQ (Delmas & Turu, 2009). Finalement la publication des résultats a été fait par Turu et al. (2011a et b), avec une réflexion des possibles implications géomorphologiques (Turu, 2011) pour trois échantillons en concret (AND 1, AND 3 et AND 13, Fig. 1).



Fig. 1: Localisation de l'échantillonnage effectué. Discussion des résultats des échantillons 1, 3, 5 et 13 sont objet de la communication.

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

L'hypothèse de travail était supposer que une vallée glaciaire présente des traits les plus jeunes aux cirques, tandis que les zones les plus anciennes de la même sont la ou l'empreinte glaciaire est la plus faible. Dans ce sens nous avons choisi en 2002 faire un transect nord-sud préférentiel le long de la vallée du Valira Nord (Fig. 1). L'échantillonnage a toujours été choisir des veines de silicates sensibles de présenter des cristaux de quartz. La méthodologie et matériaux pour les datations en ²¹Ne qui a été suivie est la même que celle appliquée en Galice par Fernández-Mosquera (2002). Les datations en ¹⁰Be ont été faits dans le laboratoire PRIME (Université Prude, Indiana, États-Unis) en 2004.



AND 1 AND 3 AND 5 AND 13

RÉSULTATS

En aucun des échantillons de lithologie granitique a été possible obtenir du gaz pour la datation en ²¹Ne (9, 10, 11, 12, 17), ni les échantillons 16, 14 et 15 situées dans des schistes, bien que le quartz utilisé a été purifié à la mesure du possible. Ici on invoque des questions de migration du gaz par des flux d'eau en milieux cristallins fissurés comme est le cas exposé en Scandinavie (Neretnieks, 2013). Sur un total de 17 échantillons 6 ont été sélectionnés pour dater avec ¹⁰Be. Contrairement aux échantillons ²¹Ne (Tableau 1) des résultats dans des échantillons de lithologie granitique ont pu être obtenues (Tableau 2).

Surface	²⁰ Ne	²¹ Ne	²² / ²⁰ Ne	Cosmo. ²¹ Ne
AND 1 (a)	6,16	4,26	2,25	2,90±0,0287
AND 3 (b)	9,86	3,25	3,16	2,68±0,0885
AND 5 (b)	9,93	13,5	3,28	6,13±0,0978
AND 6 ab	16,40	0,952	2,05	0,521±0,0456
AND 7 (b)	6,63	3,48	2,12	2,16±0,0480
AND 13(c)	18,3	2,97	2,06	2,97±0,0633
Atm./g	x10 ⁹	x10 ⁹	x10 ¹¹	x10 ¹⁰

Tableau 1: Résultats obtenus dans le laboratoire en 2004 suivant la méthodologie de Fernández-Mosquera (2002). Les concentrations des différents échantillons ont été obtenus à partir de différentes étapes de température (Dunai, 2010) comprise entre 400° C et 600° C. (a) correction Fernández-Mosquera et al. (2003) en présence de la composition de la croûte. (b) correction de Fernández-Mosquera et al. (2000, 2003) en ajoutant nucléogéniques ²¹Ne. (c) correction Fernández-Mosquera et al. (2000, 2003) pris par d'autres composants de la composition de l'atmosphère Ne.

Référence.	¹⁰ Be	Quartz	Secteur
AND 1	3,19789	42,63	Arcalis
AND 13	1,30881	17,65	Engordany
AND 15	1,62089	10,86	Solà Nadal
AND 3	2,34363	39,00	Encodina
AND 4	1,95781	20,79	Lloris
AND 9	3,35293	33,29	Engolasters
atoms/g	x10 ⁵	g	

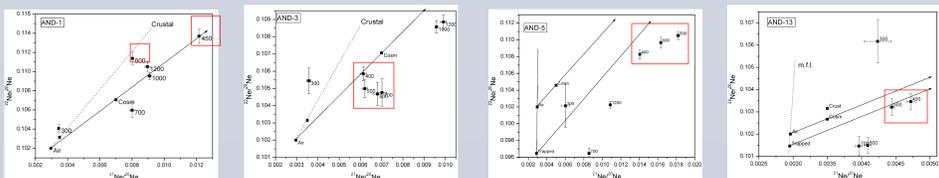
Tableau 2: Résultats obtenus dans le laboratoire PRIME (Université Prude, Indiana, États-Unis) en 2004 (NIST 4325 standard, voir <http://www.physics.purdue.edu/primelab/>).

Ref.	Geomorphologie	Hauteur	Âge	±2σ
AND 1	Cirque glaciaire	2.460 m	225 Ka	2,22 Ka
AND 3	Roche moutonnée	1.730 m	362 Ka	11,7 Ka
AND 5	Vallée glaciaire	1.300 m	1.180 Ka	18,8 Ka
AND 6	Surface de poliment	1.930 m	59,1 Ka	5,17 Ka
AND 7	Bolc morainique	1.298 m	411 Ka	9,14 Ka
AND 13	Roche moutonnée	1.108 m	660 Ka	14,1 Ka

Tableau 3: Résultats obtenus dans le laboratoire PRIME (Université Prude, Indiana, États-Unis) en 2004 (NIST 4325 standard, voir <http://www.physics.purdue.edu/primelab/>). Le taux de la ²¹Ne/¹⁰Be = rapport 4.3 (Kober et al., 2010). Le taux de production a été obtenue en utilisant CRONUS-Earth online calculator: (<http://hess.ess.washington.edu/math/>) v.2.2.1 (Balco et al. 2008) sans corrections.

Éc	Hauteur (Km)				Intéprétation "B" ²¹ Ne/ ¹⁰ Be (années)	
	Actu	Avan	Expositio	Enfouisse	Total	
1	2,46	1,252	564,316	5,815,659	6,399,975	
3	1,73	0,376	1,614,130	7,091,549	7,183,873	
5	1,30	0,137	2,917,374	5,095,131	8,012,506	
13	1,11	0,121	1,614,130	7,091,549	8,705,679	

Tableau 4: La production d'isotopes cosmogéniques corrigée en fonction de l'hauteur au moment de l'exposition permet de calculer plus précisément le temps d'enfouissement (burial time, tb) à partir de l'équation (1). Les erreurs sont quasi symétriques, les positifs 3,5%±1,1 et les négatifs -3,16%±0,96.



INTÉPRÉTATION

Contrairement au ²¹Ne le ¹⁰Be est un isotope instable et il se décompose radioactivement au cours du temps, c'est à dire qu'il ne s'accumule pas indéfiniment comme le ²¹Ne.

Leurs résultats sont généralement illustrés dans des diagrammes à deux nucléides de Lal (1991), dans lesquels différents domaines ayant des implications géomorphologiques peuvent être identifiés. Dans notre cas tous les échantillons analysés sont sur le champ des surfaces avec une histoire d'exposition complexe qui doit inclure les périodes d'inhumation au cours de lesquelles la production de nucléides ralentit ou arrête. L'histoire d'exposition la plus courte est la d'une exposition de la surface continue sans érosion, suivie d'enfouissement à une profondeur suffisante (> 0,7 m) pour la protéger complètement de la surface des rayons cosmiques (Bierman et al. 1999). Pour des deux nucléides la concentration est fonction de la production (P) pour chaque isotope en un certain temps d'exposition (te = [²¹Ne]/PNe) selon:

$$[^{10}\text{Be}] = [1 - \text{EXP}(-\lambda t_e)] [\text{EXP}(-\lambda t_b)] P_{\text{Be}} / \lambda \quad (1)$$

Ou $\lambda = \text{LN}(2) / T_{1/2}$ ($T_{1/2}$ est le temps de demi vie de l'isotope radioactif) est et t_b le temps d'enfouissement.

La récente connaissance morphotectonique et paléoenvironnementales des Pyrénées-Orientales et du Centrales (p.e. Calvet et Gunnell, 2008; Ortuño et al 2013), ont permis de connaître les valeurs du soulèvement tectonique qui varie entre 0,14 et 0,18 mm/an, données essentielles pour calculer les taux de production des isotopes cosmogéniques au moment de l'exposition, spécialement pour le calcul des productions des surfaces les plus élevées. Le temps d'exposition (t_e) est celui exposé dans le tableau 3. Dans les surfaces d'érosion inférieures de la vallée Suc et al. (2012) estiment que dans le Miocène la Cerdagne (Can Vilella) était près du niveau de la mer. Ont à garde les différences de cote entre AND 13 et AND 5 avec Can Vilella ($\approx 1.165 - 1.175$ m), avec un minimum de 18,4 atm/g/an pour le ²¹Ne (Dunai, 2010).

Le fait que les données disponibles sont dans le champ d'exposition complexe (Lal, 1991) indiquent qu'ils ont été partiellement ou complètement blindé après l'exposition initiale, leurs valeurs des âges ¹⁰Be sont apparentes.

La protection ou l'enfouissement des surfaces d'érosion permeten aux radionucléides, comme ¹⁰Be, de se désintègrent en fonction de leurs $T_{1/2}$ de 1,387 Ma (Chmeleff, 2010). C'est ce processus qui provoque également un minimum d'âge d'exposition calculées pour les différents radionucléides différent les uns des autres. En utilisant les équations (1) et (2) ci-dessus, les durées minimales depuis la première exposition ont été quantifiés pour le paire ²¹Ne-¹⁰Be avec la production actuelle (Tableau 4).

DISCUSSION

Un profil d'équilibre liée à la tectonique

Le profil de la vallée formé (Fig. 2) dans ce moment a des notables différences par rapport au profil actuel, grand part par le jeu relatif entre les blocs séparés par les failles de Mérens et de Soldeu. (Zwart, 1979), par ailleurs toujours actives (Turu & Planas, 2005).

La formation des surfaces d'érosion dans la partie inférieure de la vallée montre être en relation avec le taux de soulèvement tectonique.

Âge de la formation des grands cirques glaciaires

C'est indicatif que le enfouissement de la surface AND 13 (burial) s'incie avec le changement du taux d'érosion entre AND 3 et AND 1 (Fig. 2). On ignore pourquoi le taux d'érosion augmente, peut être par un augment du taux de surrection après 7 Ma?, aussi ici à la faille de Mérens?, c'est par l'érosion remontant qui dissectione les surfaces d'aplanissement tout en cherchant le profil d'équilibre?, est ce que les cirques glaciaires sont associées à la formation de nouvelles surfaces d'érosion mineurs (Fig. 2; S_{1+n}), comme a été déjà soutenue par Prat (1980) en Andorre?, si c'est le cas ont à là l'âge de la formation des plateaux (6,4 + 0,18 / - 0,17 Ma) ou les grands cirques glaciaires de Delmas (2009) vont être inscrits; just à l'aube d'un refroidissement du climat dans la région Méditerranéenne vers 6,26 Ma (Hodell et al. 2001).

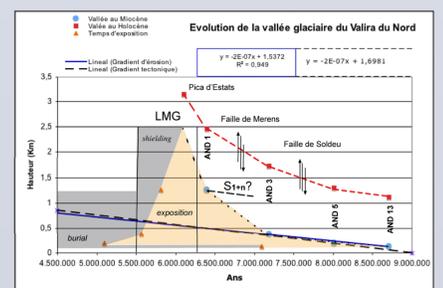
Un premier remplissage de la vallée d'Andorre

La combinaison de plus d'un facteur peut être aussi invoqué, mais dans tous les cas on obtient un premier remplissage de la vallée d'Andorre, qui est d'ailleurs méconnue (Turu et al. 2007), enfouissent la surface AND 13 par des sédiments d'âge Miocène.

Une glaciation Miocène dans les Pyrénées

En dehors de l'échantillon AND 13 le reste de surfaces ont un temps d'exposition invers a leur altitude. Le blindage aux cosmogéniques des surfaces d'en haut vers le bas est celui qu'il faut espérer dans le cas de l'existence d'appareils glaciaires dans la vallée. A ce sujet il faut remarquer l'association de faune froide au Messinien observé dans les sédiments cerdans de Can Vilella (Agustí et al. 2006) au même moment. Hodell et al. (2001) signalen aussi des refroidissements du climat entre 6,26 Ma et 5,5 Ma modulés par le cycle orbital de 41 Ka.

Fig. 2: Présentation des résultats en fonction de l'âge et hauteur de la surface d'érosion (Tableau 4) avec l'actuel position altitudinale des échantillons. La représentation de la Pica d'Estats dans le profil est indicatrice du relief le plus haut près du échantillon AND 1. Vers 6,1 Ma le massif du Carlit se trouvait à 2.500 m d'altitude (Suc et al., 2012). LMG Last Miocene Glaciation. Shielding correspond au blindage d'exposition fait par les glaces dans la période LMG. Burial correspond au période d'enfouissement postérieur. Droite de régression de la surrection tectonique et droite de régression du taux d'érosion remontant de la vallée. Sn+1 surface d'érosion sous S1 (voir texte).



Agustí, J. et al. (2006) Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 238, 176-189
Bierman, P.R. et al. (1999) Geomorphology 27, 25-30
Bordonau J., (1992) Geomorfia (Ed.), Logroño (Espagne) 251 pp
Calvet, M. & Gunnell, Y. (2008) Geological Society London, Special Publication, v. 296, 147-166
Chmeleff, J., von et al. (2010) Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 268, 192-199
Delmas, M. (2009). Thèse Laboratoire de géographie physique de la Université de Paris I, (France), 530 pp
Dunai, T.J. (2010) Cambridge University Press, (Gran Bretaña), 187 pp
Fernández-Mosquera, D. et al. (2000). Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 172, 832-837. & (2003) Geochimica et Cosmochimica Acta 67/185.
Hodell, D.A. & Curtis J.H. (2001) Palaeogeography, 16, 2, 164-178
Kober, F. et al. (2010) Earth and Planetary Science Letters, 302, 163-171
Lal, D. (1991) Earth and Planetary Science Letters, v. 104, 424-439.
Neretnieks, I. (2013) Hydrological Journal, 1701-1717
Ortuño, M.; et al. (2013) Journal of the Geological Society, 170, 79-92
Prat, M.C. (1980). Thèse de III cycle, Institut de géographie de la Université de Bordeaux III, Bordeaux (France), 267 pp
Suc, J-P. & Fauquette, S. (2012) The use of pollen floras as a tool to estimate palaeoaltitudes of mountains: The eastern Pyrenees in the Late Neogene, a case study. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 321-322, 41-54
Turu, V. & Planas, X. (2005) IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, Valencia 21-24 de Junio.
Turu, V.; et al. (2007) Quaternaire, 18, (4), 309-325. & (2011a) El Cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011 (Valentí Turu & Ana Constanze, Eds.), Andorra la Vella, Andorra, 19-24. & (2011b) El Cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011 (Valentí Turu & Ana Constanze, Eds.), Andorra la Vella, Andorra, 127-132. & (2011) El Cuaternario en España y áreas afines, avances en 2011 (Valentí Turu & Ana Constanze, Eds.), Andorra la Vella, Andorra, XXV-XXX.
Zwart, H.J. (1979) Leidse Geologische Mededelingen, 50, 1-74

Références