

Les terrasses fluviales du système Segre-Valira (Andorra-La Seu d'Urgell-Organyà, Pyrénées Orientales) : relations entre le glaciario et la tectonique active

Valenti Turu i Michels* et José Luis Peña Monné**

* Fondation Marcel Chevalier, Av. Príncipe Benlloch 66-72, AD 500 Andorra la Vella,

Principauté d'Andorre ; E-mail: vturu@andorra.ad

** Département. de Géographie et Organisation du territoire, Université de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

E-mail: jlpena@unizar.es

Traduction par Romain Roger Roch GIL

Ingénieur géologue de l'école nationale supérieure de géologie (Nancy)

Résumé :

L'étude des différents affleurements des terrasses fluviales, fluvioglaciales et des tills glaciaires des vallées du Valira et du Segre, dans les Pyrénées orientales apportent de nouvelles données sur l'extension du glacier du Valira et de l'activité tectonique du secteur. L'étude sédimentologique montre que les terrasses fluviales présentent une séquence aggradante constituée de cycles granodécroissants, avec un caractère fluvioglacial prononcé à la base, compatible avec des éventails alluviaux marqués par les eaux de fusions (type C de Krzyszkowski et Zieliński, 2002). Vers le toit, ces cycles présentent un caractère propre aux systèmes fluviaux de faible sinuosité. Le critère d'échelonnement et d'encaissement des terrasses a permis de distinguer les terrasses supérieures des terrasses inférieures, cela même si l'activité tectonique de la zone ne permet pas l'attribution d'une altitude constante pour chaque formation. Une cartographie basée sur le niveau d'altération des terrasses a permis de distinguer 5 formations. Les niveaux de terrasses sont corrélés dans la partie amont du bassin avec des fronts morainiques, d'après le principe de Penck et Brückner (1909). Cela a permis d'identifier à proximité de *La Seu d'Urgell* un complexe morainique fronto-latéral (*el Tossal del Bordar, Calvinyà*). Le secteur peut être qualifié comme tectoniquement actif, puisque la vallée d'Andorra et d'Escaldes correspond à un graben intramontagneux, qui serait lié à l'activité tectonique du fossé d'Urgellet. L'Urgellet est définie comme zone de déformation positive avec un taux de déformation apparent de 1,1 mm.an-1 entre l'Andorre et *La Seu d'Urgell*.

Mots clés : Glacier, Pyrénées Orientales, moraines, terrasses fluviales, tectonique active.

Abstract:

The study of different outcrops from fluvial terraces, glaciofluvial sediments and moraine deposits in the Valira and Segre rivers, Eastern Pyrenees, contribute to new data on the extension of the glacier in the Valira valley and the tectonic activity. The sedimentological study of fluvial terraces shows an aggradational sequence with fining upwards cycles, with high glaciofluvial appearance at the bottom associated with outwash fans dominated by meltwater (C type of Krzyszkowski and Zieliński, 2002), whereas towards the top increases the fluvial character with low sinuosity. The relationship between terraces and rock outcrops has allowed to separate the terraces in two groups. The tectonic activity do not permit assign a fixed height to each level, so that the different degree from the pedogenic features permit us to distinguish five levels of fluvial terraces. It was observed that the fluvial terrace are related with terminal moraines, following the Penck and Brückner's (1909) genuine principle, and allowing to identify at the proximity of the Seu d'Urgell a moraine front complex (the Tossal of Bordar at Calvinyà). Regardless to tectonic activity it can be described as "active", having identified the Andorra and Escaldes valley as an intramountainous graben related to the tectonic activity in the Urgellet graben, and a horst with 1.1 of mm/yr aparent uplift ratio between Andorra and the Seu d'Urgell.

Keywords: Glacial, Eastern Pyrenees, moraines, fluvial terraces, active tectonic.

INTRODUCTION

La zone d'étude est localisée dans les Pyrénées orientales dans la région de l'*Alt Urgell* et dans la principauté d'*Andorra*, s'étendant sur la zone de confluence du *Segre* et du *Valira* (**Figure 1**). Le *Segre* prend sa source dans les reliefs bordant la dépression de la Cerdagne française et suit son cours dans ce fossé tectonique, passant par le *Baridá* avant d'arriver dans le fossé de l'*Urgellet* et au point de confluence avec le *Valira*. Son bassin s'étend sur 1.233 km², tandis que le bassin du *Valira* s'étend sur 559 km² entre l'*Alt Urgell* et l'*Andorra*.

Lors de leurs parcours, les deux rivières traversent des terrains d'âge paléozoïque de lithologies variées, à l'exception de *La Cerdaña* et l'*Urgellet* où ils surcreusent des matériaux déposés lors du Néogène et associés à la mise en place de fossés tectoniques post-orogéniques (**Figure 1**). Les lithologies traversées varient donc entre des granits et des schistes, jusqu'à des grès, des conglomérats et des calcaires. Entre le *Pla de Sant Tirs* et *Noves de Segre*, il y a un changement de terrains traversés : on passe des terrains paléozoïques aux dépôts mésozoïques pour atteindre finalement les formations cénozoïques à partir de l'*Embalse d'Oliana*.

Les objectifs de cette publication sont de présenter les travaux qui sont actuellement réalisés sur les terrasses fluviales du *Segre* dans la zone de confluence avec le *Valira*, en mettant en relief les résultats obtenus jusqu'à ce jour et qui prétendent apporter des éléments de réponse à des problématiques scientifiques formulées par des chercheurs de la première moitié du XX^{ème} siècle (Chevalier, 1924; Panzer, 1926; Nussbaum, 1934; Llobet, 1947). Ce travail sur un secteur délimité à la partie supérieure du *Segre*, le principal affluent de l'*Ebro*, s'inscrit dans le cadre des études réalisées actuellement sur le versant sud des Pyrénées, par plusieurs chercheurs. Leur travail aboutit à une cartographie détaillée et à une reconstruction chronologique précise de la mise en place des terrasses fluviales et des dépôts glaciaires. Dans sa globalité, l'ensemble de ces études aborde en détail la reconstruction paléo-climatique des Pyrénées et de la dépression de l'*Ebro* lors du Pléistocène (Sancho *et al.*, 2004 y Peña *et al.*, 2004).

D'autre part, l'étude de ce système de terrasses a mis en évidence l'importance de l'activité tectonique quaternaire, spécifiquement dans l'*Urgellet*, où les sédiments fluviales présentent des déformations syn et post-sédimentaires. On a ainsi cherché à démontrer l'importance de la néotectonique sur l'évolution géomorphologique régionale en se basant sur un inventaire des sédiments quaternaires. La géomorphologie et le relief de cette région traduisent l'expression d'une activité néotectonique continue. Le contexte tectonique est tel, qu'on peut même parler de tectonique active, puisque les déformations mises en évidence recoupent même les terrasses les plus récentes.

METHODOLOGIE

La méthodologie suivie pour l'étude des terrasses du système *Segre-Valira* est la méthodologie classiquement utilisée pour ce type contexte géographique. Pour le modèle initial, on a pris le critère de Penck et Brückner (1909), qui établit une corrélation entre la mise en place des dépôts de terrasses fluviales et des phases glaciaires. Ce critère de corrélation paléo-climatique a pu être vérifié à partir de datations réalisées sur des moraines, des terrasses fluvio-glaciaires et fluviales du *Cinca* (Peña *et al.*, 2003, 2004; Sancho *et al.*, 2004). On observe également dans la zone d'étude, la relation géomorphologique existant entre les terrasses et les fronts morainiques localisés. Pour cela des critères d'altitude et des critères édaphiques ont été appliqués sur des portions réduites du cours des rivières considérées. Ces critères ont une importance fondamentale pour la corrélation des dépôts, étant donné que la tectonique a déplacé verticalement les terrasses.

En fonction de la portion considérée, on ne dispose pas toujours de l'enregistrement complet des terrasses, surtout pour les terrasses les plus récentes. Ainsi donc, la numérotation des terrasses est, conventionnellement, de haut en bas, ou des plus anciennes aux plus récentes. D'autre part, la relation d'échelonnement ou d'encaissement entre les niveaux de terrasses, avec la présence ou l'absence consécutive de substratum rocheux, a permis d'identifier des compartiments subsidents et d'autres liés à un soulèvement tectonique. Les coupes équilibrées de chaque niveau n'ont pas pu être réalisées en se basant sur la base des terrasses, mais en se basant sur la position de leur toit, et l'érosion partielle de celui-ci peut induire des indéterminations sur la précision de l'altitude des terrasses. Cela n'a pas empêché d'observer sur les coupes équilibrées, des failles dont le rejet affecte les formations des terrasses. La cartographie des niveaux les plus bas présente, par endroit, des indéterminations, mais en ce qui concerne les niveaux supérieurs, il n'y a aucune confusion possible, puisque les formations sont clairement différenciées. Il faut finalement remarquer que les datations effectuées ont été déterminantes dans la corrélation des niveaux de terrasses présentant des problèmes d'interprétation.

INVENTAIRE D'AFFLEUREMENTS

Terrasses fluviales et fluvio-glaciaires

Le *Segre* et le *Valira* ont déposé des matériaux fluviaux de façon conjointe, en de nombreux endroits de l'*Urgellet* avec un point de confluence qui a bougé au cours du temps. Ainsi donc, on parlera des dépôts fluviaux de ce secteur, comme appartenant au système *Segre-Valira* (SV) (**Figure 2**). En général, on peut distinguer un ensemble de terrasses supérieures, et un autre constitué par des terrasses de plus faible altitude, qui sera appelé ensemble des terrasses inférieures. Hartevelt (1970) a inclus dans l'ensemble des terrasses supérieures dans la formation de *Ballestà*; cette dernière présentent des corps sédimentaires détritiques de granulométrie et de lithologie similaire à ces terrasses supérieures, et Hartevelt (1970) l'a attribué au Pliocène. Cependant, dans les terrasses supérieures, on peut distinguer des sédiments de remplissage du Néogène, parce qu'ils présentent des clastes avec des morphologies glaciaires (facettes, lunules de broutage), tandis que pour les corps détritiques tertiaires les clastes sont plus arrondis et de taille inférieure. Il existe également des différences sur la provenance des matériaux, puisque les dépôts de terrasses supérieures présentent une quantité plus importante d'éléments granitiques que les formations inférieures du fossé de l'*Urgellet*. On a également mis en évidence l'existence d'une similarité entre les faciès sédimentaires (fluvio-glaciaires) des terrasses supérieures et de ceux des terrasses inférieures, ce qui renforce la logique d'une étude conjointe des deux formations, logique clairement détachée du remplissage néogène du fossé tectonique.

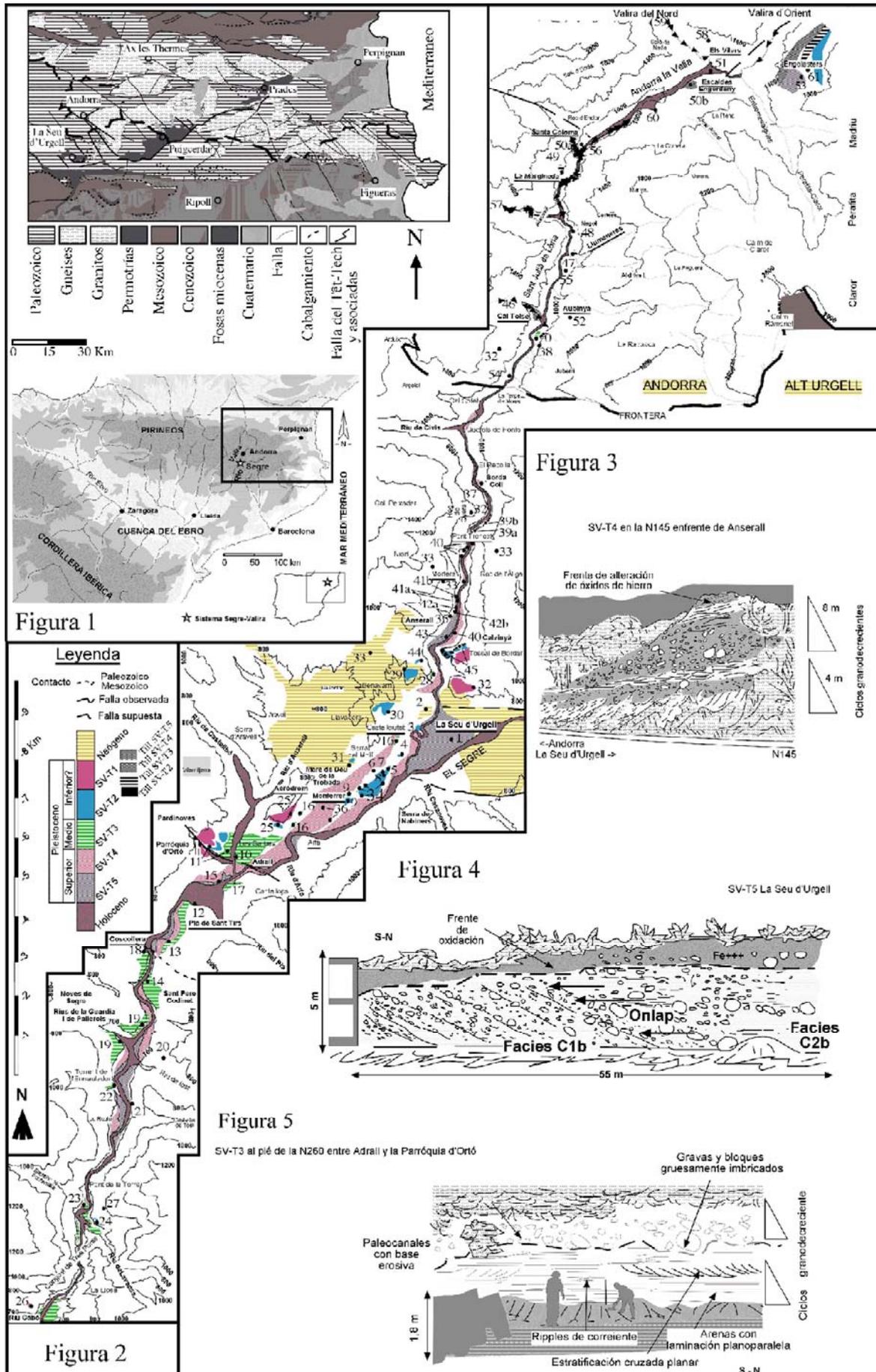
Types de faciès

L'inventaire des affleurements réalisé, présente des faciès fluvioglaciaires succédé par des faciès proprement fluviaux, et ce, aussi bien dans les terrasses supérieures que dans les terrasses inférieures. Cependant, dans les deux formations, les variations latérales de faciès sont dues aux apports latéraux, provenant des versants. Les séquences de faciès que l'on rencontre habituellement, sont granodécroissantes, et terminées par un sol, au-dessus de la fin de l'enregistrement de la sédimentation fluviale. On verra cependant dans la partie sur la morpho-tectonique, que l'on a également mis en évidence un cycle granocroissant, associé à une obturation de la vallée du *Valira*.

Nous commençons par les faciès les plus proximaux, c'est à dire les faciès fluvioglaciaires, qui ont été observé entre *Adrall* et *Pont Trencat* (affleurements 11a 40 **Figure 2**). Sur ces faciès, nous avons pu distinguer, au minimum, deux cycles granodécroissants de grande énergie (écoulements hyper-concentrés) aussi bien en coupe longitudinale (affleurement 43) à *Anserall*, avec de 8 à 10 mètres de puissance pour chacun, qu'en coupe perpendiculaire (affleurement 1) à *La Seu d'Urgell*. Ces cycles de grande énergie furent identifiés par J.M Vilaplana (1992) à *Anserall* (**Figure 3**), et sont caractérisés par un tri granodécroissant séparé en quatre ensembles. La base est légèrement érosive, formée par des blocs imbriqués de grande taille, pris dans une matrice-support de sable et de graviers sans structures tractivées (faciès C1c de Krzyszkowki et Zieliński, 2002). On trouve au-dessus des galets et des graviers imbriqués (faciès C1a de Krzyszkowki y Zieliński, 2002) auxquels succèdent des sables grossiers et moyens avec des stratifications planes (troisième ensemble, faciès C2a de Krzyszkowki y Zieliński, 2002). On retrouve finalement au niveau du toit, des granulométries les plus fines, constituées de sable et silts (faciès C3a de Krzyszkowki y Zieliński, 2002) formant des interdigitations avec les sédiments de versants.

Les faciès de chenal à *la Seu d'Urgell* (**Figure 4**) sont caractérisés par des structures d'aspect massif à la base, avec des figures de charges, avec des injections de silts laminés s'adaptant aux galets imbriqués granitiques (du *Valira*) sus-jacents. On trouve également des galets mous du Miocène (originaires du *Segre*) avec des éléments granitiques. L'ensemble se présente avec une stratification inclinée (méandre ou barre d'accrétion, faciès C1b de Krzyszkowki y Zieliński, 2002). La partie intermédiaire présente une séquence granodécroissante avec une stratification horizontale et en contact discordant avec l'unité inférieure (remplissage du chenal, faciès C2b). Finalement, la partie supérieure est érosive avec un remplissage massif sans structure (faciès de débordement ou de levées, dans un milieu de dépôt plus fluvial), elle est terminée par un sol avec des passées ocre. Ces faciès C1b de Krzyszkowki y Zieliński, (2002), des galets sans structure avec des injections de silts, ont également été identifiés sur la terrasse supérieure à *Adrall* (affleurement 11, **Figure 2**).

Les faciès les plus distaux par rapport à l'influence glaciaire ont été observés aussi bien dans les systèmes du *Valira*, que du *Segre*. Ils sont constitués par des faciès caractéristiques des systèmes en tresse (*Adrall*, base de l'affleurement 11), des faciès de confluence fluviale (*Adrall*, affleurement 10), ainsi que par des séquences généralement granodécroissantes en dehors de l'influence glaciaire (*Lavansa*, affleurement 24). Concrètement, sur ce dernier affleurement on peut observer que cette terrasse supérieure du *Segre* est formée de séquences granodécroissantes et stratodécroissantes, avec une diminution du nombre d'éléments granitiques vers le toit. L'affleurement 24 illustre donc comment s'est produite la migration du chenal du *Segre* dans la gorge de *Tres Ponts*. On trouve aussi à *Adrall* (affleurement 10) des faciès caractéristiques de la confluence entre le *Segre* et le *Castellbó*, où la base n'est pas observée. La séquence se compose de trois cycles granodécroissants et stratodécroissants à bases érosives, avec des lithologies granitiques vers la base (*Segre*). On observe une prédominance d'éléments de lithologie locale pour le *Castellbó* au niveau du toit de chaque séquence. Justement dans ce secteur de la vallée du *Segre*, les matériaux de la base de l'affleurement 11 (*Adrall*, **Figure 5**) appartiennent à un coude de la rivière, où on peut observer en partie deux séquences granodécroissantes. La séquence inférieure présente des sables moyens avec des stratifications entrecroisées et des barres d'accrétions. Ce sont les indices du chenal du cours d'eau, avec des migrations du chenal principal, qui marquent le début des séquences.



Les deux faciès de terrasses sont caractérisés par un ratio de compétence sur l'espace disponible, dans le fond de la vallée, par rapports aux pédiments. Les alluvions dominent pendant les phases fluvioglaciaires (par exemple : affleurement 1, clastes morainiques), tandis qu'en régime fluvial les pédiments envahissent le fond de la vallée. Les séquences de faciès fluviales observées sont la plupart du temps granodécroissantes, ce qui implique une lente migration du chenal vers le centre de la vallée, ainsi qu'une progradation des faciès de versants, dans la même direction. Cette migration des dépôts de versant implique des apports latéraux importants et une capacité de transport de la rivière en diminution, probablement pour des causes climatiques (Coulthard *et al.*, 2005), si bien que les dépôts de versants finissent par prograder sur les dépôts alluviaux. De bons exemples de ces phénomènes peuvent s'observer à *Sant Julià de Lòria* (affleurement 0 ; Turu et Planas, 2005), au *Pla de Sant Tirs* (gravière de *Coscollera*, affleurement 18, **Figure 6**) et dans l'ancien aéroport de *Montferrer* (affleurement 26) aussi bien dans les terrasses supérieures, que dans les terrasses inférieures.

Par moment, l'obturation de la vallée provoque l'avancée rapide des torrents vers le centre de la vallée et ils ne sont alors plus caractérisés par une érosion. Ceci fut le cas du torrent d'*Anserall* quand le *Valira* fut obturé à l'altitude de la *Farga de Moles*, par le glissement de terrain d'*Arcavell* (Turu et Planas, 2005). En référence à cet événement, on observe sur la terrasse inférieure du *Valira*, à *Anserall*, un cycle granodécroissant (affleurements 42a et 42b). Sur la piste qui conduit vers le cimetière d'*Anserall* (affleurements 41a et 42b), on observe des changements latéraux de faciès du torrent qui descend de *Sant Llorenç*, dans l'ancien hameau de *Morters*, où les apports torrentiels sont recouverts par les dépôts du *Valira*, une fois l'obturation achevée.

Dans d'autres cas, on rencontre directement des dépôts de « rock avalanche » sur les sédiments de fond de vallée préexistants, comme c'est le cas du dépôt massif de roches déposées sur la terrasse de *Borda Coll* (affleurement 34) qui provient de la partie supérieure du versant du *Rebollar*, et qui serait lié à d'autres instabilités du versant proche, comme celles citées par Turu et Planas (2005) sur le versant de *Querols de Ponts* en montant à *Arcavell*.

Etat d'altération

Il faut signaler sur la thématique de l'altération des terrasses fluviales, que les plus hautes peuvent présenter des fronts d'altération très importants, avec des passées ocres correspondant à des oxydes de fer et avec de véritables niveaux de cimentation de carbonates détritiques, pouvant atteindre 4 à 6 mètres d'épaisseur, ce qui implique un développement important des stades morphologiques du carbonate (>= grade IV de Birkeland, 1999). Cela est le cas de la terrasse de l'urbanisation de *Balcó del Pirineu* (affleurement 8, **Figure 2, 7 et 8**), comme celui de la terrasse du village de *Montferrer* (affleurement 9), ou de la terrasse de la gravière, actuellement fermée, au sud de l'aéroport de *Montferrer* (affleurement 25), ou de l'ancienne gravière de *Tossal de Bordar* (affleurement 45), et qui ne peuvent pas être influencées par un quelconque substratum carbonaté ayant pu apporter sous forme dissolue, le carbonate nécessaire à la cimentation. Cependant, ces terrasses ont été recouvertes par des épaisseurs considérables de sédiments de versants, elles peuvent ne pas présenter le même niveau d'altération, comme c'est le cas pour les terrasses supérieures de l'*Adrall* (affleurement 11), ou bien le dépôt fluvioglaciaire associé à la moraine de *La Margineda* (Turu, 1994).

Les terrasses inférieures présentent une altération plus faible, et il faut remarquer dans toutes ces terrasses un développement important de l'horizon B, avec des stades avancés d'oxydation des minéraux contenant du fer (oxydes de fer), et quelques encroûtements basaux de carbonates entre les galets, des ménisques de carbonates secondaires et des carbonates secondaires (< au grade IV de Birkeland, 1999), comme par exemple les terrasses de *Sant Julià de Lòria* (affleurement 0), *Anserall* (affleurement 35), la terrasse de *La Seu d'Urgell* (affleurement 1), les replats de *Montferrer* (affleurement 36 et affleurement 16), le *Pla de Sant Tirs* (affleurement 18) et *Adrall* (affleurement 10).

Moraine et tills glaciaires

Types de faciès

La continuité des terrasses fluviales s'interrompt à l'amont de la vallée du *Valira*, pour faire place à des tills glaciaires et des blocs morainiques, sauf pour la plus haute des terrasses, pour laquelle la position du front morainique correspondant n'a pas été identifiée. On a cependant identifié des faciès de type C1c-C1b de Krzyszkowski y Zieliński, 2002) (affleurement 11), similaires à ceux décrits pour la terrasse plus basse (affleurement 1, **Figure 4**), qui, avec la présence de graviers présentant des morphologies glaciaires, laisse penser que cette terrasse a également une origine fluvioglaciaire.

Le second niveau de terrasses rencontré est échelonné par rapport à la terrasse la plus ancienne. Il présente un complexe morainique important à *Calvinyà* (affleurement 45, **Figure 2**) suspendu 80 mètres plus haut que le fond de la vallée, et qui est adossé latéralement à la terrasse la plus ancienne. A l'aval de cet important front morainique, au niveau de l'ancien aérodrome de *Montferrer*, on a pu voir que sur le toit de la seconde terrasse supérieure (affleurement 25, **Figure 7**, vu depuis *Calvinyà*), il existe un sol brun épais qui contient des galets arrondis verticalisés (**Figure 9**), et qui sont interprétés comme ayant une forte signification paléo-climatique (périglacière en l'occurrence) et serait la conséquence d'événements s'étant produits après le cycle sédimentaire de ce niveau de terrasse. Cette relation de postériorité impliquerait un refroidissement important du climat, et postérieur au dépôt de la seconde terrasse supérieure.

La terrasse nommée « *Les Garbes* », à cause de son grand développement dans le secteur d'*Adrall* (affleurements 10 et 11) est échelonnée par rapport aux deux terrasses antérieures, et correspond à la plus haute des terrasses inférieures du système *Segre-Valira*. Dans la vallée du *Valira*, on a pu identifier ce niveau à *Sant Julià de Lòria* grâce aux datations TL qui ont été effectuées par Turu et Planas (2005), se trouvant à cet endroit en continuité avec un front morainique (affleurement 47 et 48, Turu, 1994). Sa continuité en amont peut être suivie, grâce à l'état d'altération que les affleurements présentent, ainsi que par la découverte de blocs morainiques lors des excavations réalisées pour la construction de l'*Instituto de Bachillerato Español* à *La Margineda* (affleurement 49) et appartient au front morainique cité par Panzer (1926), Llobet (1947) et Turu (1994), comme les sédiments détectés dans le fond de la vallée d'*Escaldes* (Turu et Planas, 2005). Tous ces affleurements donnent une idée du retrait glaciaire sur le front glaciaire du Riss dans la vallée d'*Andorra*, puisque d'après Turu et Planas (2005), elle aurait un âge compris entre 120.000 et 125.000 ans.

Comme on le verra dans la partie concernant les datations de l'essai de reconstruction (partie II), la terrasse la plus basse serait contemporaine d'une position du front glaciaire du *Valira*, à *Santa Coloma* (Nussbaum, 1956) et à *Bixessarri*, pour son affluent d'*Os de Civís*. Entre la terrasse de « *Les Garbes* » et cette dernière -la terrasse la plus basse-, on en trouve une autre qui présente un développement important au sud de la *Farga de Moles* (affleurements 37 et 40) Elles sont respectivement liées à l'accumulation de blocs morainiques (> 8 m³) à *Cal de Tolse* (affleurement 38) et aux grands blocs de *Pont Trencat* (affleurement 39) interprétés par G.S. Boulton (2006) comme des blocs glaciaires appartenant à un till ayant subi un lessivage par les eaux de fusion. Cette terrasse intermédiaire des terrasses inférieures du *Segre* présente une extension particulièrement importante à *Montferrer* (affleurement 36) et en aval d'*Adrall* (affleurement 15).

Ainsi donc, toutes les terrasses du *Segre-Valira* présentent des manifestations de l'influence glaciaire ou une relation directe avec un front glaciaire, ce qui renforce l'idée de considérer aussi bien les accumulations fluviales supérieures et inférieures, comme faisant partie d'un même système de terrasses quaternaires.

EXPRESSION MORFOLOGIQUE DU RELIEF, DYNAMIQUE ET REPONSES MORPHOTECTONIQUES

Discordances intraformationnelles et dislocations

Dans la reconnaissance des faciès sédimentaires qui caractérisent aussi bien les terrasses supérieures que les terrasses inférieures entre *Organyà (Segre)* et *Escaldes-Engordany (Valira)*, des dislocations ont pu être identifiées, ainsi que des discordances angulaires, des failles et des cicatrices anciennes fossilisées, qui reflètent l'instabilité tectonique de la zone.

On commence par l'extrémité septentrionale de la zone d'étude, c'est-à-dire par la cuvette d'*Andorra* et d'*Escaldes-Engordany* (point numéro 51, **Figure 10**), avec pour objectif la caractérisation du sous-sol du secteur connu comme *Clot d'Emprivat*, à partir des déblais de sondages mécaniques effectués. On a ainsi mis en évidence, des graviers et des sables présentant une édaphisation avancée (terre ocres à rougeâtres, interprétées comme faisant partie du cycle Riss-Eemien ou antérieure), fossilisés sous plusieurs niveaux de tills sous-glaciaires. Dans ce même secteur des failles ont été mises en évidence et citées par Turu et Planas (2005). Ces failles affectent le substratum rocheux et le remplissage sédimentaire. Dans le secteur méridional de la vallée d'*Andorra*, Turu (1997) signale une faille dextre décelable en cartographie et nous pensons qu'une relation existe entre celle-ci et la faille antérieure (**Figure 11**).

Turu et Planas (2005) signalent également que les terrasses du *Segre* à *Adrall* (affleurement 11) sont affectées par des failles, microfailles et discordances. Ces phénomènes perturbent aussi bien les terrasses supérieures que les plus récentes. A cet endroit, on a observé des basculements postérieurs à la mise en place des terrasses supérieures, des discordances angulaires intraformationnelles dues à des basculements synsédimentaires, ainsi que des dislocations du substratum rocheux qui affectent les terrasses et les sédiments fluviaux (mouvements synsédimentaires). On a également reconnu des dislocations synsédimentaires et des discordances angulaires au niveau de la terrasse supérieure se trouvant à la confluence du *Segre* avec le *Lavansa* (affleurement 24). En d'autres endroits de l'*Urgellet* on observe des failles post-sédimentaires avec un rejet vertical qui a affecté les terrasses supérieures, comme c'est le cas de la terrasse supérieure de l'ancienne citadelle militaire (affleurement 4) ou la cicatrice fossilisée par les sédiments de versant du Permo-Trias affectant la terrasse de l'urbanisation " *Balcó del Pirineu*" à *Montferrer* (affleurements 6, 7 et 8, **Figure 12**). On retrouve uniquement les terrains du Permo-Trias dans le bassin du *Casanoves* qui conflue actuellement avec le *Segre*.

Dans certains cas, la présence d'une sédimentation anormale traduit l'instabilité des versants qui a pu provoquer l'obturation de la vallée, comme dans le cas du mouvement de masse d'*Arcavell* qui a obturé la vallée du *Valira* au cours du Tardiglaciaire d'après Turu et Planas (2005). Le remplissage associé à cette obturation de la vallée a généré plus de 20 mètres de dépôts, épaisseur estimée à partir de sondages mécaniques à rotation effectués près de station d'épuration de *Sant Julià de Lòria* (affleurement 54, **Figure 2**). Les eaux étaient retenues en amont, ce qui provoqua en aval, l'avancée rapide du torrent d'*Anserall* jusqu'au centre de la vallée. Il faut aussi citer des preuves d'instabilité du versant de *Querol de Ponts* (Turu et Planas, 2005) associées localement avec le glissement de terrain d'*Arcavell*, et dans le *Rebollar*, comme cela a été précédemment mentionné dans l'aparté précédent. Etant donné que le contexte régional y est propice, Turu et Planas (2005) ont laissé ouverte, la question d'un possible précurseur sismique ayant provoqué les glissements de terrains. Cela impliquerait que la sédimentation et les cours du *Segre* et du *Valira* auraient été influencés par l'activité tectonique de la zone.

Figura 6

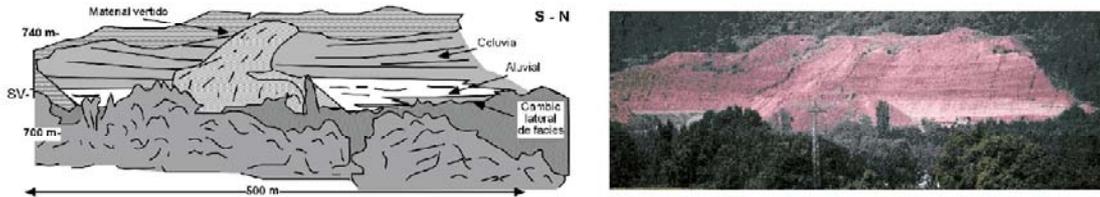


Figura 7

Vista del Urgellet desde el Pla de les Forques, lugar donde reposan los sedimentos de la SV-T1

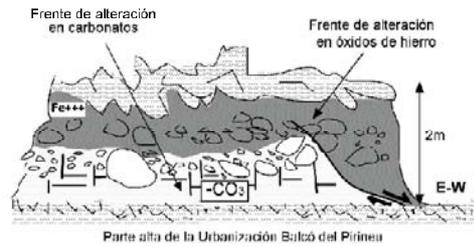
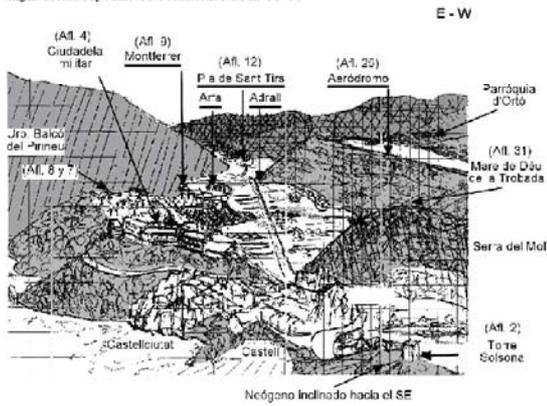


Figura 8

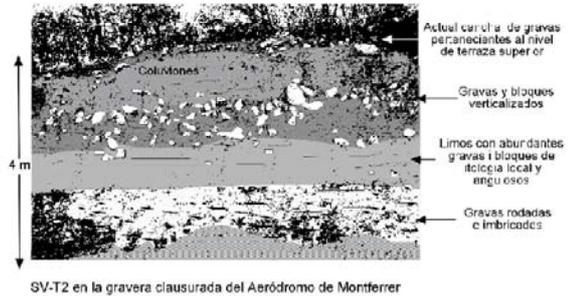


Figura 9

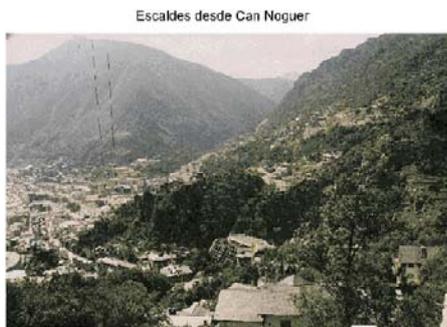
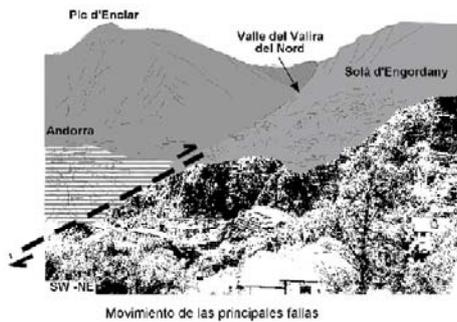


Figura 10



Original de Turu (1997)

Figura 11

Position relative des terrasses

Les terrasses présentent des caractéristiques de subsidence et de soulèvement en suivant le cours du *Segre* dans l'*Urgellet* et dans le cours du *Valira* jusqu'à *La Margineda*. Si on utilise comme critère de corrélation le niveau d'altération des dépôts, les affleurements d'un même niveau se trouvent de plus en plus suspendus par rapport au fond de la vallée, en remontant les eaux de l'*Urgellet*. Ce phénomène s'observe très bien entre le *Pla de Sant Tirs* et *Escaldes-Engordany*, où, si on suit la base des affleurements présentant des altérations importantes avec des oxydes de fer et le développement de carbonates, on voit que pour les affleurements 18, 10, 11 et 16 (*Coscollera*, *Adrall* et le replat de *Montferrer*, **Figure 2**) la base de la terrasse n'affleure pas. Dans la gravière de *Coscollera* (**Figure 6**), cette base se situe clairement sous le niveau actuel du cours fluvial, comme à *Escaldes-Engordany* (Turu et Planas, 2005, point 51) où il existe des dépôts de graviers et de sables, à 35 mètres de profondeur, présentant un état d'altération semblable. Par contre, entre *Castelleciutat* et *La Margineda*, à la base de la terrasse, on retrouve des dépôts présentant le même état d'altération, mais entre 35 et 40 mètres au dessus du *Valira*, à *Castelleciutat*, *Anserall*, *Sant Julià de Lòria* et *La Margineda* (affleurements 16, 35, 0-47-48 et 49, **Figure 2**).

Encaissement torrentiels et gorges

Ainsi donc, la position relative de cet ensemble d'affleurements fluviaux et glaciaires avec un niveau d'altération similaire- en supposant qu'ils sont attribués à un âge géologique similaire, comme Sancho *et al.* (2004) ont pu l'observer dans le *Cinca* et le *Gállego*, met en évidence deux compartiments subsidents séparés par un compartiment soulevé. Un de ces compartiments subsidents est connu depuis longtemps (Chevalier, 1909) et correspond au fossé tectonique de *La Seu d'Urgell*, tandis que le deuxième compartiment subsident a été mis en évidence plus récemment par Turu et Planas (2005)

Le secteur ayant subi un soulèvement relatif est donc compris entre *Anserall* et *La Margineda*. Ce secteur embrasse les vallées du *Valira* de l'*Alt Urgell* et du *Valira* au sud de la Principauté d'*Andorra*, et il présente des manifestations morphologiques que l'on peut associer avec ce type de déformation positive. A un endroit, de fortes incisions fluvio-torrentielles apparaissent. Elles ont conduit des auteurs comme Chevalier (1925) et Llobet (1947) à considérer que ce secteur n'a jamais été affecté par les flux glaciaires. C'est dans ce cadre-là qu'on peut observer une série de torrents encaissés (*Fontaneda*, d'*Aubinyà*, de *Llumaneres*) et de gorges (rivière d'*Os de Civís* et de *Civís*, **Figure 13**) annexes à la vallée principale qui sont très étroites (**Figure 14**) et qui reflètent une incision fluviale très rapide. Dans certains cas, on note une importante sinuosité des gorges, comme pour la rivière d'*Os de Civís*, ainsi que de grands rayons de courbure du chenal des torrents canalisés (torrents d'*Aubinyà* et de *Fontaneda*). Il est possible que ces encaissements importants soient liés au soulèvement que le *Valira* subissait au niveau de la confluence entre le *Segre* et la cuvette d'*Andorra la Vella*, car la régularisation des versants ne devait pas avoir le temps qui lui était nécessaire, laissant ces mêmes versants se faire inciser par les cours d'eau existant.

Comme le suggère la cartographie du remplissage fluvial (**figure 15**), les deux zones subsidentes mises en évidence présenteraient des failles. Dans le cas du fossé de l'*Urgellet*, ce mouvement s'observe en distinguant les zones élevées (petits horsts) des zones en dépression (grabens de dimensions réduites). Les horsts correspondent aux affleurements du Paléozoïque, alignés du NE au SW, tandis que les deuxièmes sont des affleurements de dépôts fluviaux. On distingue également des compartiments en dépression dans le Néogène (*Mare de Dèu de la Trobada*) et des compartiments basculés du Néogène (*Torre Solsona*, affleurement 2). Dans le cas d'*Andorra la Vella* et d'*Escaldes*, le contact du granite avec son encaissant montre en cartographie, des mouvements dextres de la zone subsidente (*Vall d'Enclar* et à *Engordany*). A partir du jeu de ces failles à rejet à composante verticale, on peut reconstruire la trace des principales contraintes du secteur (**Figure 15**), si bien qu'entre deux secteurs subsidents, il existerait une zone de compression, qui serait à l'origine de l'élévation. C'est justement dans ce compartiment situé entre les fossés tectoniques, que les torrents et les affluents du *Valira*, et le lit du *Valira* se retrouvent très encaissés par rapport aux reliefs de versants, plus ou moins aplanis. On suit donc une logique de larges plateformes de faible inclinaison, qui sont délimitées par

des gorges étroites et des ravins. On a évalué leur élévation de façon relative dans la rivière d'*Os de Civís*. En partant d'une datation radio-carbonique effectuée à la base de l'ancien lit glaciaire suspendu de 5 m (4.560-4.410 cal BP, β -198807, affleurement 57b), on obtient une valeur apparente de 0,11 cm/année, cela impliquerait que le mouvement est toujours actif. Pour Calvet (1999), l'âge des dernières manifestations tectoniques généralisées dateraient du Pléistocène moyen, tandis qu'on observe ici qu'elles sont toujours actives.

CONCLUSIONS

Dans l'ensemble des terrasses du *Segre* et du *Valira* dans l'*Urgellet*, on peut distinguer un groupe de terrasses supérieures et un autre groupe, il se situe à des altitudes inférieures et est appelé terrasses inférieures. Le groupe des terrasses supérieures a été inclus dans les cartes géologiques antérieures comme appartenant au Pléistocène (Hartvelt, 1970), cependant, elles sont différentes du remplissage détritique néogène du fossé de l'*Urgellet*, parce qu'elles présentent une teneur plus importante de clastes granitiques, d'éléments de plus grande taille, une morphologie distincte des galets (morphologie glaciaire) et des associations de faciès similaires à celles des terrasses inférieures.

Les niveaux de terrasses présentent un ou plusieurs cycles granodécroissants parmi lesquels on peut distinguer deux faciès sédimentaires, à la base des faciès de type fluvioglaciaire, associés à des complexes morainiques frontaux, dominés par les eaux de fusion (type C de Krzyszkowki y Zieliński, 2002), et vers le toit, des faciès témoins d'écoulements glaciaires, plus faibles ou absents. Ces faciès sont associés à une dynamique fluviale de faible sinuosité, similaire à celle décrite par Bridge *et al.* (1986). En ce sens, il faut mentionner que la plupart des niveaux de terrasse sont corrélés vers l'amont du système, à des tills glaciaires, et en suivant le modèle classique de Penck et Brückner (1909), ces tills ont le même âge que la partie fluvioglaciaire des terrasses.

Sur toutes les terrasses, les sédiments de versants dominant le fond de la vallée. Ces sédiments progradent, lors des passages d'un régime alluvial à un régime fluvial, dans le bassin, ce qui implique des apports latéraux importants, dus à la faible capacité de transport de la rivière. Coulthard *et al.* (2005) sont arrivés aux mêmes conclusions, en les expliquant pas des changements climatiques. D'autre part, on observe clairement que le développement du front d'altération est plus important pour les terrasses supérieures que pour les terrasses inférieures. On observe cependant parmi les terrasses inférieures plusieurs stades d'altération. D'après les idées de Sancho *et al.* (2004) pour le *Cinca* et le *Gállego*, en ce qui concerne la relation entre le niveau d'altération et l'âge des dépôts, on pourrait attribuer un âge de 750 ka à ce groupe de terrasses (Pléistocène moyen-inférieur).

Pendant tout ce temps, les sédiments des terrasses fluviales ont enregistré les instabilités de la zone. On a ainsi pu identifier des dislocations, des discordances angulaires, des failles et d'anciennes cicatrices fossilisées par des sédiments de versant, puisque dans la zone d'étude, il existe de façon simultanée des compartiments subsidents et des compartiments soulevés. Les zones en subsidence sont caractérisées par un remplissage sédimentaire important (*Andorra le Vella* et l'*Urgellet*), tandis que le bloc situé entre les compartiments subsidents est caractérisé par un soulèvement ; celui-ci a généré d'importants encaissements de torrents, formant des gorges étroites, comme c'est le cas du *Valira* et de ses affluents entre *Anserall* et *La Margineda*.

Tectoniquement, la zone est active, puisque la déformation positive a tendance à élever à un rythme de 1,1 mm/an, le compartiment soulevé. La formation de petits grabens intra-montagneux, comme celui d'*Andorra la Vella*, est liée avec l'activité tectonique du fossé de l'*Urgellet*. Des phénomènes similaires ont été identifiés par Turu et Planas (2005) dans la vallée du *Rialp*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Birkeland, P.W., 1999. Soils and Geomorphology. New York: Oxford University Press. 430p
- Bridge, J.S., Smith, N.D., Trent, F., Gabel, S.L, y Bernstein, P., 1986. Sedimentology and morphology of a low-sinuosity river: Calamus River, Nebraska Sand Hills. *Sedimentology*, 33, 851-870
- Chevalier, M. 1909. Note sobre la Cuencita de la Seo de Urgel. *Bull. Soc. Géologique de France*. 4°-5° Tomo IX y Tomo X,
- Chevalier, M. 1924. Contribution à l'étude des Pyrénées, note sur les terrains Néogènes des Vallées du Valira. *Bull. de la I.C.H.N.*, Vol. IV, N° 9 (Octubre), 177-190
- Chevalier, M. 1925a. Andorra. Chambéry: Dardel, 106p.
- Coulthard, T.J., Lewin, J., Macklin, M.G., 2005. Modelling differential catchment response to environmental change. *Geomorphology*, 69, 222-241
- Hartvelt, J.J.A. 1970. Geology of the upper Segre and Valira valleys Central Pyrenees, Andorra/Spain. Sheet 10, *Leidse Geol. Med.*, 45, 167-236
- Imbrie, J. y Imbrie, K.P. 1994. Ice ages, solving the mystery. London: Harvard University Press, 224p.
- Krzyszczkowskq, D. y Zieliński, T., 2002. The Pleistocene end moraine fans: controls on their sedimentation and location. *Sedimentary Geology*, 149, 73-92
- Nussbaum, F. 1934. Die seen der Pyrenäen. Berna: Mitt. Nat. Ges., 184 p., Traducción catalana de Solé. L.: Els llacs dels Pirineus segons Nussbaum, *Butll. de la I.C.H.N.*, Vol. XXXVI, II^{on} trimestre, Barcelona 1936, 107-115
- Nussbaum, F., 1956. Observations morphologiques dans la région de la Noguera Pallaresa. *Pirineos*. XII. N°. 39-42, 57-99
- Llobet, S., 1947. El medio y la vida en Andorra, estudio geográfico. CSIC Inst. Juan Sebastián Elcano-Estación de estudios pirenaicos. Barcelona, 347p.
- Panzer, W. 1926. Talentwicklung und eiszeitklima im nordöstlichen Spanien. (Traducción de Teresa Michels) *Abhand. den Senckenberg. Naturs. Ges.*, Bd. 39, Heft 2, 141-182
- Penck, A. y Brückner, E., 1909. Die Alpen im Eiszeitalter. Tauchnitz, Leipzig
- Peña, J.L., Sancho, C., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E. 2003. Las morrenas terminales de los valles glaciares del Gállego y Cinca (Pirineo de Huesca). *Datos cronológicos. Bol. Glaciológico Aragón*, 4, 91-109.
- Peña, J.L., Sancho, C., López, M., Morín, J., Carbonell, E., Rodríguez, X.P., Escolà, M., Fernández, C., Gallart, J., Sánchez, F., Velázquez, R. y Rubio, V. 2004. Los yacimientos paleolíticos del valle de La Femosa (Lleida) en su contexto geomorfológico y arqueológico. In: N. Ferreira (Ed.). *O Paleolítico. IV Congreso de Arqueología Peninsular*. Universidade de Algarve. Algarbe, pp. 321-334
- Peña, J.L., Lewis, C., McDonald, E., Rhodes, E. y Sancho, C., 2004. Ensayo cronológico del Pleistoceno medio-superior de la cuenca del río Cinca (Pirineos y Depresión del Ebro). In Benito, G. y Díez.Herrero, A. (Eds.) *Contribuciones recientes sobre Geomorfología (Actas VIII Reunión Nac. de Geomorfología. Toledo)*. SEG y CSIC. Madrid, pp 165-172.
- Sancho, C., Peña, J.L., Lewis, C., McDonald, E. y Rhodes, E., 2004. Registros fluviales y glaciares cuaternarios de las cuencas de los ríos Cinca y Gállego (Pirineos y Depresión del Ebro). In: Colombo, F, Liesa, C.L., Meléndez, G., Pocoví, A., Sancho, C. Y Soria, A.R. (Eds) *Geo-Guías 1. Itinerarios Geológicos por Aragón (VI Congreso Geológico de España)*. Sociedad Geológica de España. Zaragoza, pp. 181-205
- Turu, V., 1994. Datos para la determinación de la máxima extensión glaciar en los valles de Andorra (Pirineo Central). *Geomorfología en España*, T 1, Logroño, España, pp. 256-273.
- Turu, V., 1997. Els sistemes geològics. Roc d'Enclar, Transformacions d'un espai dominant, S.IV-XIX, *Monografies del Patrimoni Cultural d'Andorra número 4*, Andorra, pp 68 -79
- Turu, V. y Planas, X., 2005. Inestabilidad de vertientes en los valles del Valira. Datos y dataciones para el establecimiento de una cronología, posibles causas. Andorra y Alt Urgell (Pirineos Orientales). *Simposio de Inestabilidades de Vertientes y Taludes*. Valencia, España, pp. 795-802