

EXEMPLES DE DEFORMATION SYNSEDIMENTAIRE DANS LA CUVETTE GLACIO-LACUSTRE DE LA MASSANA, PUSH MORAINE DE L'ALDOSA ET DELTA DES HORTALS. PRINCIPAUTE D'ANDORRE (PYRENEES ORIENTALES)

Valentí TURU i MICHELS

(1) DRYAS®, Av. Príncipe Benlloch 66-72, bureau 308, Andorra la Vella, Principat d'Andorra, vturu@andorra.ad

Traduction par Romain Roger Roch GIL, Ingénieur géologue de l'école nationale supérieure de géologie (Nancy)

Keywords: Glacial sediments, Proglacial outwash delta, Galtectonic deformation, Push Moraine, Eastern Pyrenees.

Abstract: The Pleistocene glaciolacustrine basin of La Massana has been studied by some authors since LLOBET (1947). An important advance in the knowledge of that basin has been carried out in the 80's by PRAT (1980) and VILAPLANA (1985). In the 90's an intense construction activity in La Massana village has given me the opportunity to study some outcrops of glacial deposits that shows the relationship of a synsedimentary deformation of gravels and silts from Proglacial outwash waters.

INTRODUCTION

La Principauté d'Andorre est globalement constituée de 3 vallées qui confluent à *Andorra la Vella* pour former le *Gran Valira*, affluent du *Segre*. La cuvette de La Massana fait partie du bassin de la *Valira del Nord* et est située dans la partie NW de la Principauté. La cuvette se situe entre 1200 et 1300 mètres d'altitude. Elle reçoit les apports des deux sous-bassins (Arinsal et Ordino) qui confluent au niveau de La Massana (Figure 1). La dernière glaciation dans les Pyrénées centrales et orientales est caractérisée, d'après BORDONAU (1992), par une extension maximale des fronts glaciaires antérieure à 31 ka BP, une phase de retrait et de stabilisation de ses fronts, antérieure à 26 ka BP, une phase de retrait généralisée des fronts glaciaires en deux étapes, la première est appelée *Glaciers de Vallée* et elle est antérieure à 16 ka BP, la deuxième est celle de *Glaciers d'altitude* avec un âge antérieur à 13 ka BP. Finalement les langues glaciaires sont restées confinées dans les cirques entre 10 ka et 11 ka BP. Cet article présente la preuve que dans le bassin du Valira du Nord, la phase *Glaciers de Vallée* est caractérisée par des oscillations du front glaciaire dans la cuvette de La Massana.

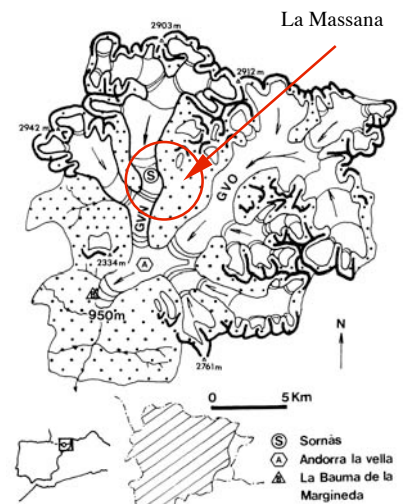
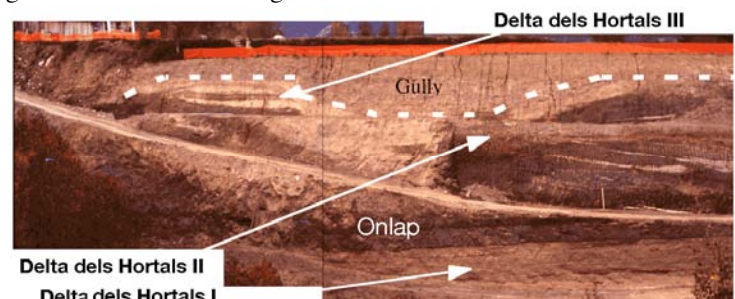


Figura 1 - Situation y extension des glaciers pléistocènes

PREUVES

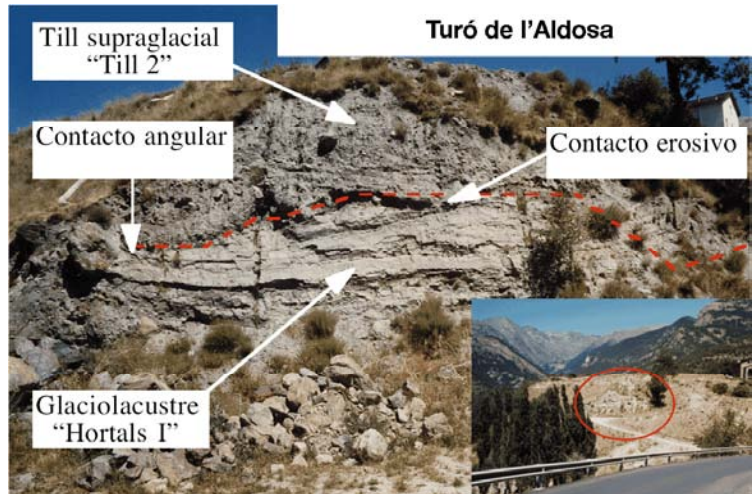
Il existe de nombreuses preuves vis à vis de la sédimentation glacio-lacustre et fluvio-glaciaire dans la cuvette de la Massana et Ordino (TURU et BORDONAU, 1997).

Sur la **photographie 1**, on peut voir une vue partielle d'une excavation importante réalisée de façon longitudinale au delta *dels Hortals*, où on a indiqué les différents corps fluvio-glaciaires existant entre les différents niveaux de rythmites glacio-lacustres déformées et mélangées avec un till sous-glaciaire (niveaux sombres). On a également souligné une surface érosive qui affecta tous les matériaux de delta *dels Hortals III*, interprétés comme un *Gully* qui a été rempli par des sédiments de pente.



Photographie 1

Les affleurements qui prouvent une déformation due à l'avancée du front glaciaire ont été mis en évidence par PRAT (1980), TURU et BORDONAU (1997) et TURU (1999). TURU(1999) rapporte l'existence d'un *drumlin* situé à quelques kilomètres, au nord de La Massana (Sornàs), ce qui indique une zone de déformation intense due à un contexte extensif. Toujours d'après TURU(1999), il est possible que la zone d'extension soit corrélée avec celle située au sud de Sornàs (zone du *Turó de l'Aldosa*) qui est en compression. Cette zone-là fut interprétée comme une *push moraine* par VILAPLANA (com. Pers.) d'après la forme qu'elle présente. On montre par la suite une série de preuves de déformation qui justifient cette interprétation.

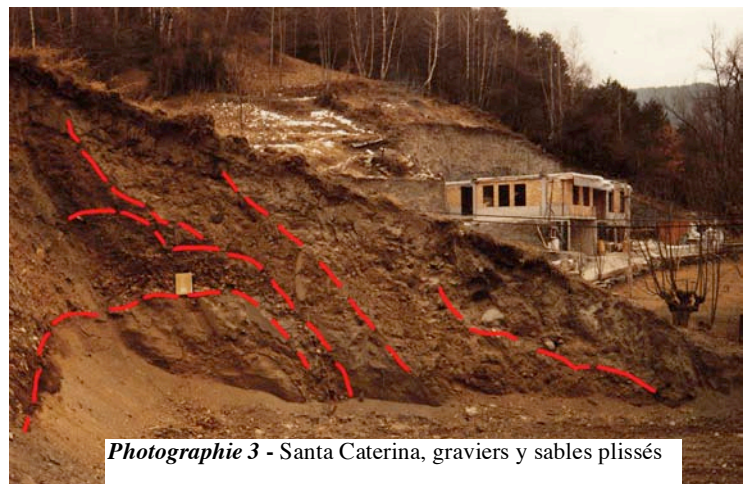


Photographie 2

La **photographie 2** correspond à la partie supérieure du *Turó de l'Aldosa* où l'on peut voir un dépôt sédimentaire présentant une cohésion importante qui a précédemment été décrit par VILAPLANA (1985). Le toit de l'affleurement est formé par des chenaux contenant des graviers et des blocs hétérométriques qui se sont mis en place sur des rythmites stratifiées. Le niveau contenant les éléments hétérométriques et hétérogènes est interprété comme étant un till supraglaciaire de fusion. Latéralement, le contact avec les rythmites semble angulaire, tandis que verticalement il est érosif. Les rythmites ont été basculées et présentent des figures de charge.

La **figure 2** et la **photographie 3** montrent la déformation subie par les matériaux fluvioglaciaires mis en place à la base du *Turó de l'Aldosa* et Santa Caterina, et qui correspondent au delta *dels Hortals I*.

On a dessiné sur la **figure 2** et sur la **photographie 3** la trace des plis présentant un style structural asymétrique. Sur la **photographie 3**, on observe également les différentes discordances angulaires entre les différents niveaux de graviers fluvioglaciaires, ce qui indique une sédimentation synchrone à leur déformation.



Photographie 3 - Santa Caterina, graviers y sables plissés

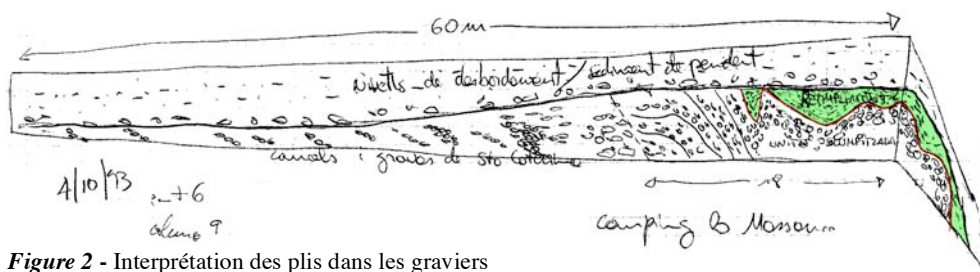


Figure 2 - Interprétation des plis dans les graviers

A la base du *Turó de l'Aldosa*, on a observé une série de plans de cisaillement qui affectent un dépôt de rythmites glacio-lacustres. A la base de l'affleurement, les rythmites présentent des structures de charge (**figure 3, photographie 4**), tandis qu'au toit, la déformation des rythmites est très intense (rythmites avec interférences de plis).



Photographie 4 - Base del Turó de l'Aldosa

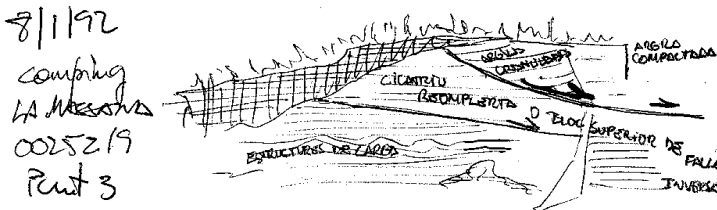


Figura 3 - Turó Aldosa
Interprétation des structures présentes dans les rythmites de la base du Turó Aldosa

STYLES STRUCTURAUX GLACIOTECTONIQUES

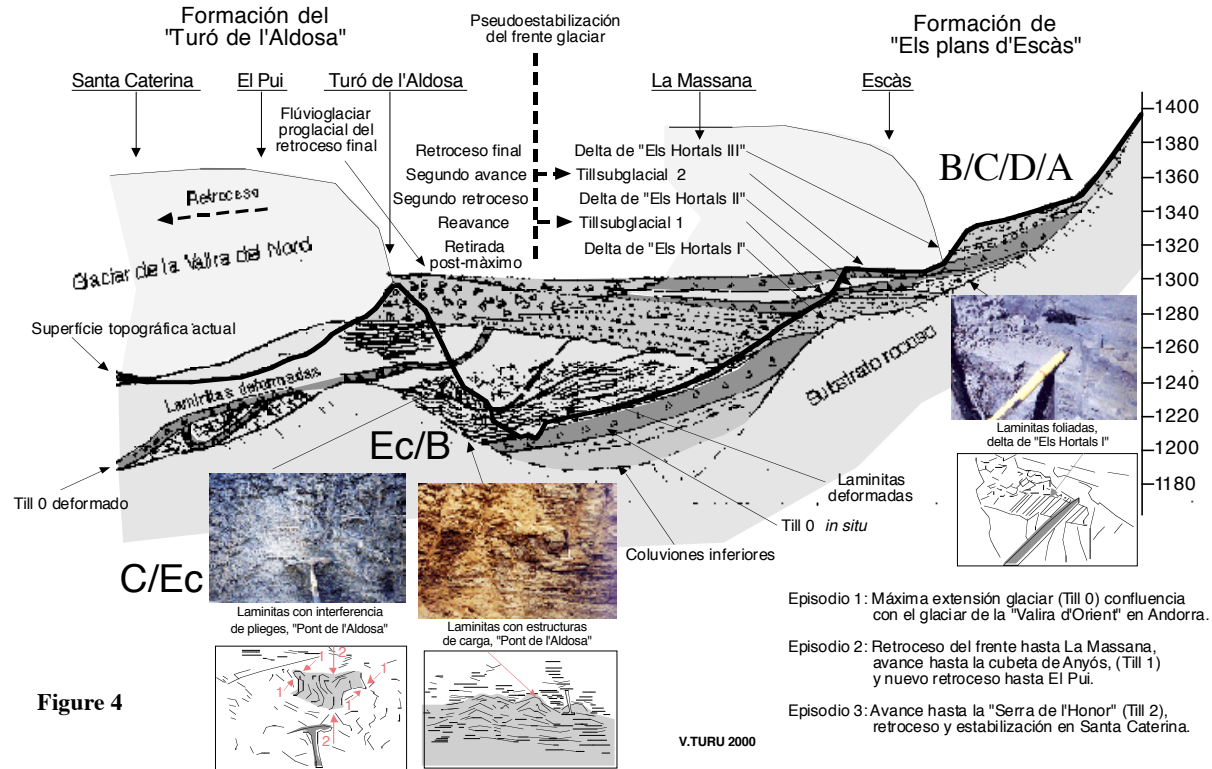
Van der WATEREN (1995) décrit une séquence synthétique de style structuraux présents dans la *push moraine* du glacier de Holmströmbreen des îles Spitsbergen, qui ressemble aux styles présents dans la *push moraine* du *Turó de l'Aldosa* et sont : (A): avant-pays non déformé : Sédiments mis en place par les eaux de fusion, (B): Structures verticalisées : Plis concentriques avec plans axiaux verticaux. (C) : Structures de faible angulosité : Plis dissymétriques, failles inverses et chevauchements. (D) : Nappe de chevauchement : Chevauchements relativement peu puissants et déformés intérieurement. (E) : Déformation intense : Boudinage, plis pliés, crénulation de la foliation. On considère les subdivisions suivantes : (Ec) : Compression. Formation de tills qui présentent une foliation ainsi que d'autres structures de compression. (Ee): Extension. Erosion importante du substratum, *drumlins* et structure d'extension.

Les styles B, C, et D sont générés dans un contexte de compression horizontale, tandis que le style E est caractérisé par une extension horizontale importante due à une augmentation des contraintes de cisaillement simple. On distingue 2 zones Ec (compression) et Ee (extension). Etant donné que la vitesse de l'écoulement glaciaire diminue au niveau du front, les structures de compression (Ec) se développent préférentiellement dans les tills sédimentaires proches de la marge, tandis que les structures d'extension se trouvent quelques kilomètres en arrière du front glaciaire.

Van der WATEREN (1995) distingue deux modèles de séquences glaciotectoniques : (1) séquence d'avancée, où le style structural E se superpose aux style A, B, C et D. (2) Séquence d'avancée qui est générée après une phase retrait général, où le till et les matériaux détritiques de fusion sont incorporés dans la *push moraine*, dans ce cas-là, les styles B, C et D se superposent au style E.

LA PUSH MORAINÉ DU TURO DE L'ALDOSA ET DU DELTA DELS HORTALS

Pour identifier les styles structuraux décrits, on a réalisé une coupe E-W avec une échelle verticale 5 fois supérieure à l'échelle horizontale (**figure 4**), et on a inclu des photographies qui illustrent les détails de la déformation :



Les différents affleurements existant et les informations provenant de divers sondages mécaniques ont permis d'affiner cette coupe, où on peut distinguer trois zones avec des dépôts sédimentaires qui sont :

1- Zone de La Massana : on distingue une séquence sédimentaire *in situ* qui fait partie de l'épisode d'extension glaciaire maximale (till 0) et de sédimentation antérieure aux épisodes déformatifs.

2- Zone du Turó de l'Aldosa : On y trouve les matériaux les plus déformés. A la base on distingue une série de rythmites qui présente une déformation fragile (**photographie 4 et figure 3**). Au niveau de la partie intermédiaire on trouve des dépôts fluvioglaciaires et glaciolacustres qui présentent des plis asymétriques (**photographie 3 et figure 2**), qui chevauchent les rythmites citées précédemment. La partie haute du *Turó* présente une déformation des rythmites moins intense (**photographie 2**) que dans la partie intermédiaire du *Turó de l'Aldosa*.

3- Zone de Els Plans d'Escàs : On distingue des tills de déformation intercalés avec des sédiments d'épandage fluvi-glaciaires montrant une succession d'événements déformatifs synchrones avec la sédimentation proglaciaire qui ont abouti à la construction de l'édifice sédimentaire deltaïque *dels Hortals*. Dans cet édifice deltaïque on distingue plusieurs niveaux fluvioglaciaires (**Photographie 1**) chevauchés par des niveaux de tills et des rythmites déformées avec des structures de faible angulosité.

DISCUSSION

TURU(1999) a identificat una zona de deformació intensa lligada a un contexte d'extensió a la base, amb una estructura de tipus *drumlin* a alguns quilòmetres al nord de La Massana (*drumlin* de *Sornàs*) que està en relació amb una important deformació (contexte compressiu) identificada al nivell del sector de La Massana. Per la suite, on va intentar de correlacionar les estructures de compressió identificades al nivell del *Turó de l'Aldosa* i celles posades en evidència al nivell del delta *dels Hortals*. Aquesta correlació ha estat proposada a partir dels models de seqüències glaciotectòniques de van der WATEREN (1995).

L'exemple del *Turó de l'Aldosa* presenta característiques mixtes que són precisades a continuació: En primer, s'observa una seqüència d'avançada, ja que materials que presenten una deformació dúctil han estat posats en evidència (estil Ec) al damunt d'altres materials que presenten una deformació cassant (estil C i D). L'evolució de l'emplaçament d'aquestes estructures està il·lustrada sobre les figures 5A, 5B, 5C i 5D, amb l'estil estructural E que es superposa progressivament al B i al C. A continuació, en una segona part, el *Turó de l'Aldosa* presenta una seqüència d'avançada de tipus C/Ec/B, il·lustrada de la base fins al cim sobre la figura 5E. Els materials de la fotografia 2 corresponen a l'estil C, i són situats sobre la part alta del *Turó*. Els nivells plissats de graviers de la fotografia corresponen a l'estil Ec. S'observen aquests nivells en la part baixa i mitjana del *Turó*; les ritmites, observables sobre la fotografia 4 presenten estructures de càrrega i són afectades per deformacions cassants. Elles són de tipus B i es situen a la base del *Turó*. Així doncs, la estructura del *Turó de l'Aldosa* és compatible amb la seqüència de re-avançada de Van der WATEREN (1995) però explicada a partir d'un únic esdeveniment de deformació.

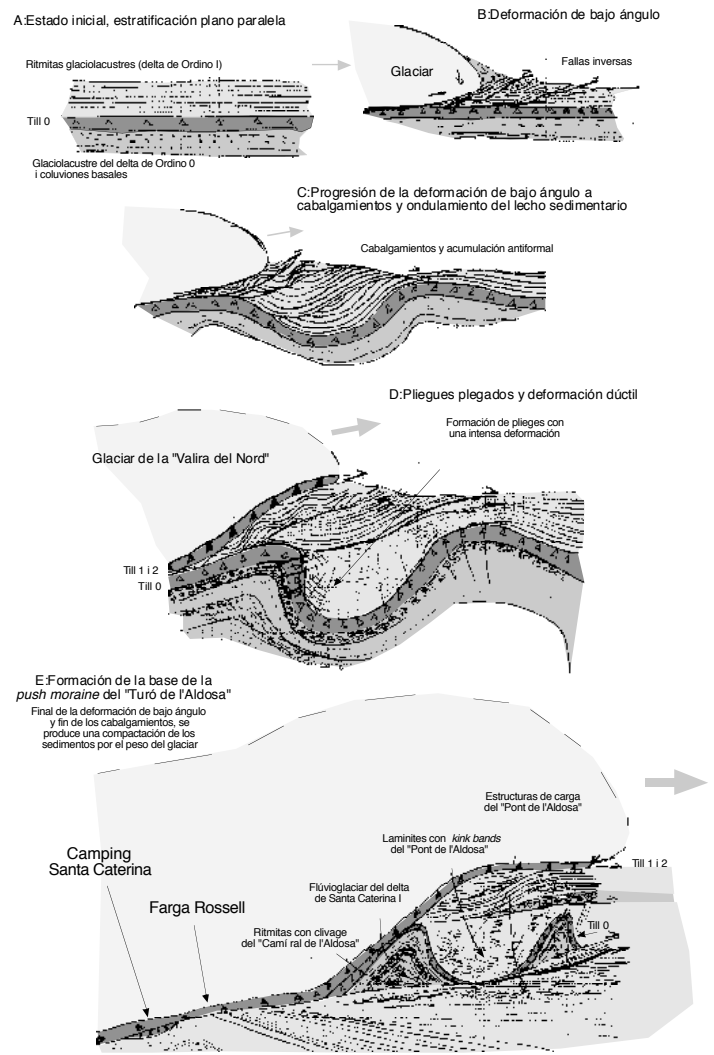


Figure 5 - Formation du "Turó de l'Aldosa" par un seul événement de poussée et déformation glaciotectonique

D'un autre côté, l'édifice deltaïque proglaciaire *dels Hortals* présente une seqüència d'avançada, possiblement de tipus $A_2/B/C/D/A_1$, amb un episodi deformatiu important (D) amb des rides chevauchantes al damunt dels graviers proglacials in situ (A_1), i conjuntament amb l'episodi d'avançada i la formació de la *push moraine*. A continuació s'observa una superposició de tipus deformatsius amb un perfil deformatiu decreixent, que correspon a d'altres avançades del front glacial (B i C).

TURU, V. (2001a) Ejemplos de deformación sinsedimentaria en la cubeta glaciolacustre de la Massana, Push Moraine de la Aldosa i delta dels Hortals, Principado de Andorra (Pirineos Orientales); ACTAS DE LA V REUNIÓN DEL CUATERNARIO IBÉRICO, 23-27 de juliol del 2001, Lisboa, 81-84; <http://www.igeotest.ad/articulos/vsart.asp?ID=41>

BIBLIOGRAPHIE

- BORDONAU, J. (1992) - *Els complexos glacio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus*, Geoforma, Logroño, 251 pp.
- LLOBET, S. (1947) - *El medio y la vida en Andorra, estudio geográfico*, CSIC Inst. Juan Sebastián Elcano-Estación de estudios Pirenaicos, Barcelona, 347 pp.
- PRAT, M.C. (1980) - *Montagnes et vallées d'Andorre, étude géomorphologique*, Thèse de III cycle, Inst. de Géogr. de la Univ. de Bord. III, Bordeaux, 267 pp.
- TURU, V. y BORDONAU, J. (1997) - El glacialisme de les valls de la Valira del Nord (Principat d'Andorra), síntesi d'afloraments; *Annals 1995 de l'Institut d'Estudis Andorrans*, Barcelona, pp. 41 - 104
- TURU, V. (1999) - *Interpretación genética de la unidad deformada de la sección estratigráfica de Sornàs, un "Drumlin" en los valles de la Valira del Nord, Principado de Andorra, Pirineos Orientales*; In: Investigaciones recientes de la geomorfología española: Aportaciones a la V reunión nacional de Geomorfología, A. GÓMEZ y F. SALVADOR (Eds.) Servei de Gestió i Evolució del Paisatge, Universidad de Barcelona, Granada, pp. 445-455
- VILAPLANA, J.M. (1985) - Les fases glacials del Quaternari superior en el sector nord-oest del Pirineu Andorrà, *Rev. Inv. Geol.*, 41, pp. 67-82
- Van der WATEREN, F.M. (1995) Processes of glaciotectonism; In: *Modern glacial environments: Processes, dynamics and sediments*; J. MENZIES (Ed.), Vol. 1; pp. 309-335