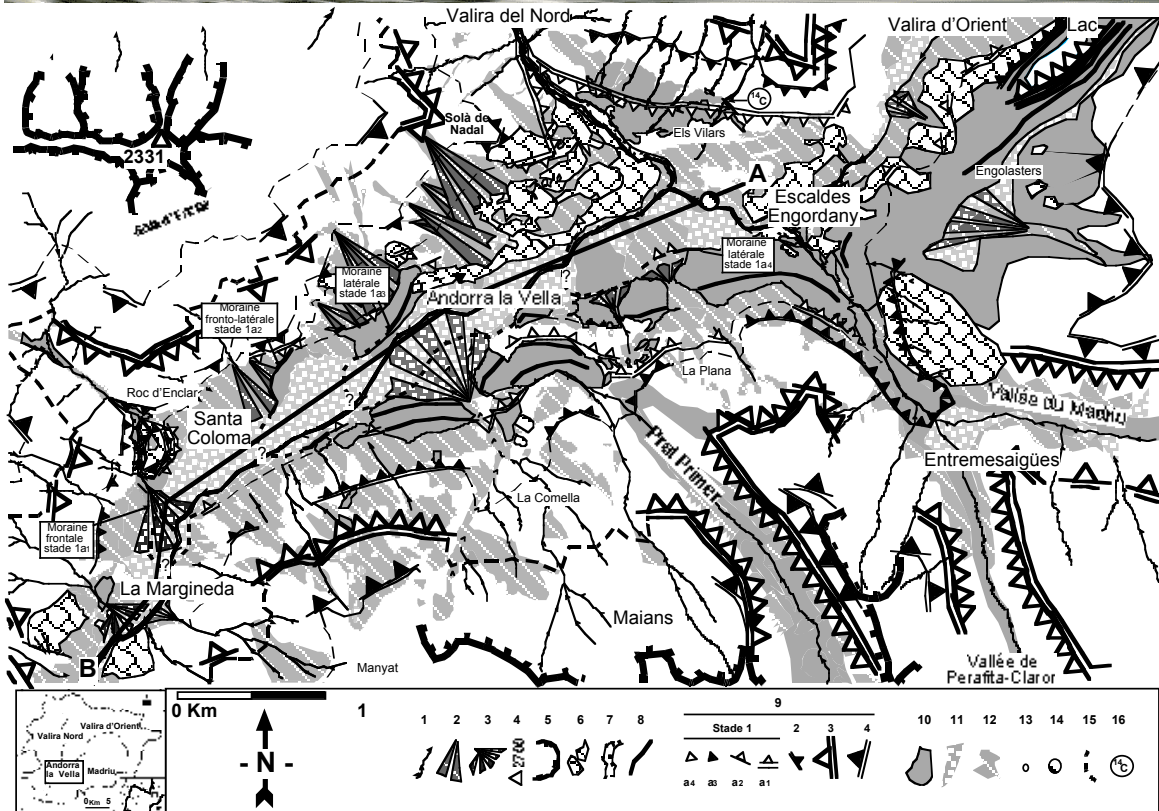
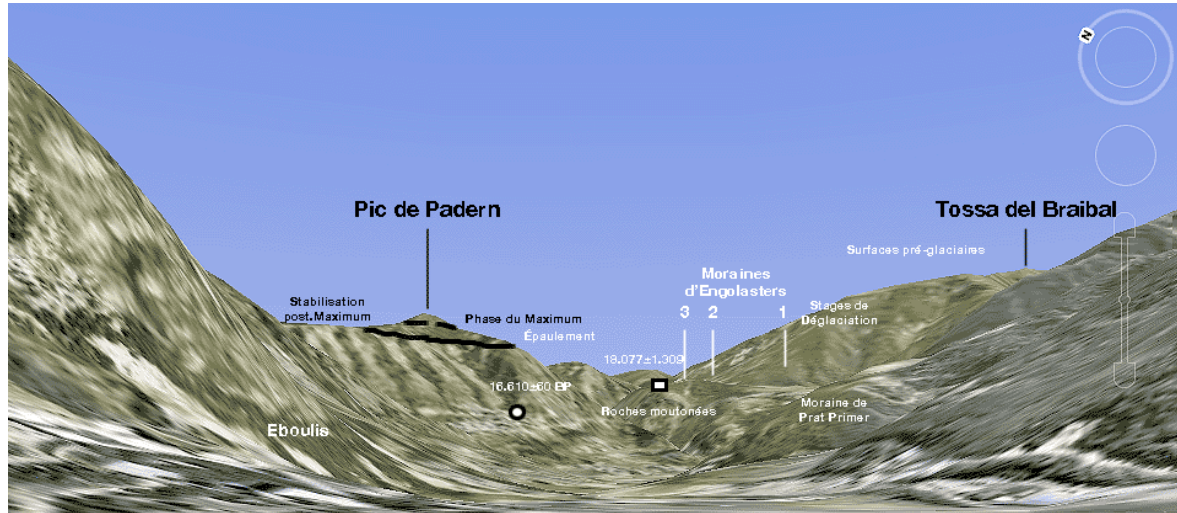


5° Arrêt (VTM)

Dynamique sous-glaciaire : La vallée d'Andorre

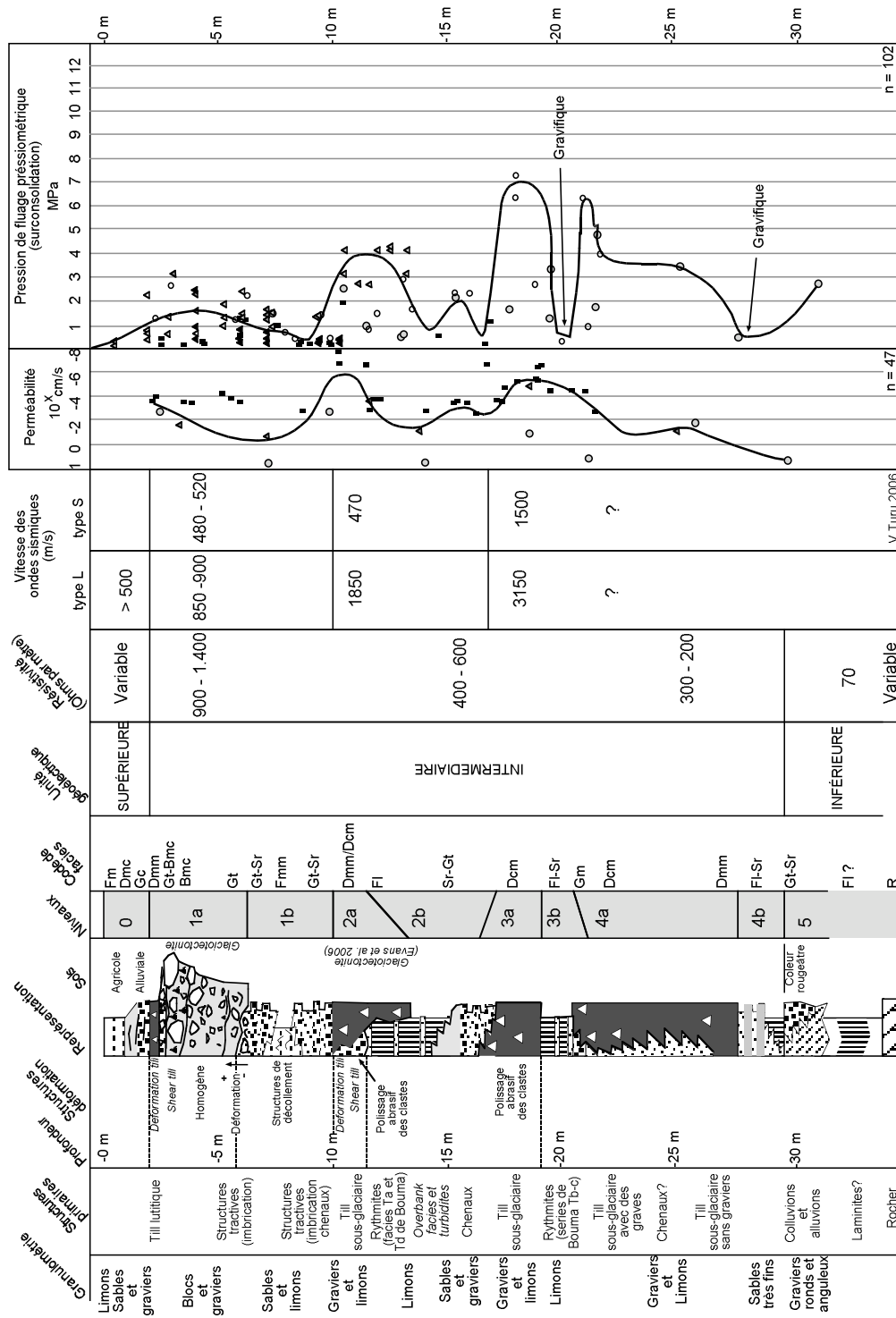
Depuis le fond de la vallée d'Andorre la Vieille on peut observer les vestiges glaciaires dans le paysage. Les hauteurs de glace peuvent être évaluées en plus de 700 m pour la phase du Maximum et 300 m au moment de la déconnexion entre le glacier du Valira del Nord et celui du Valira d'Orient (post stage 3 des moraines d'Engolasters).



Carte géomorphologique de la vallée principale du Valira entre les villages de La Margineda, Santa Coloma, Andorre la Vieille et Les Escaldes. (1) réseau fluvial, (2) cône alluvial, (3) cône de déjection, (4) pic, (5) cirque glaciaire, (6) roches moutonnées, (7) gorge sous-glaciaire, (8) cordon morainique, (9) épaulements glaciaires en correspondance avec les stades glaciaires détectés dans le sous-sol de l'Andorre, (10) till non différencié, (11) alluvial, (12) colluvial, (13) localisation des forages réalisés, (14) localisation des chantiers étudiés, (15) prouvable situation des fronts glaciaires à le stade glaciaire 1, (16) datation AMS des matériaux déposés lors du stade glaciaire 2 (20.250-19.350 ans cal BP, TURU et PEÑA, 2006). Situation de la coupe AB effectuée.

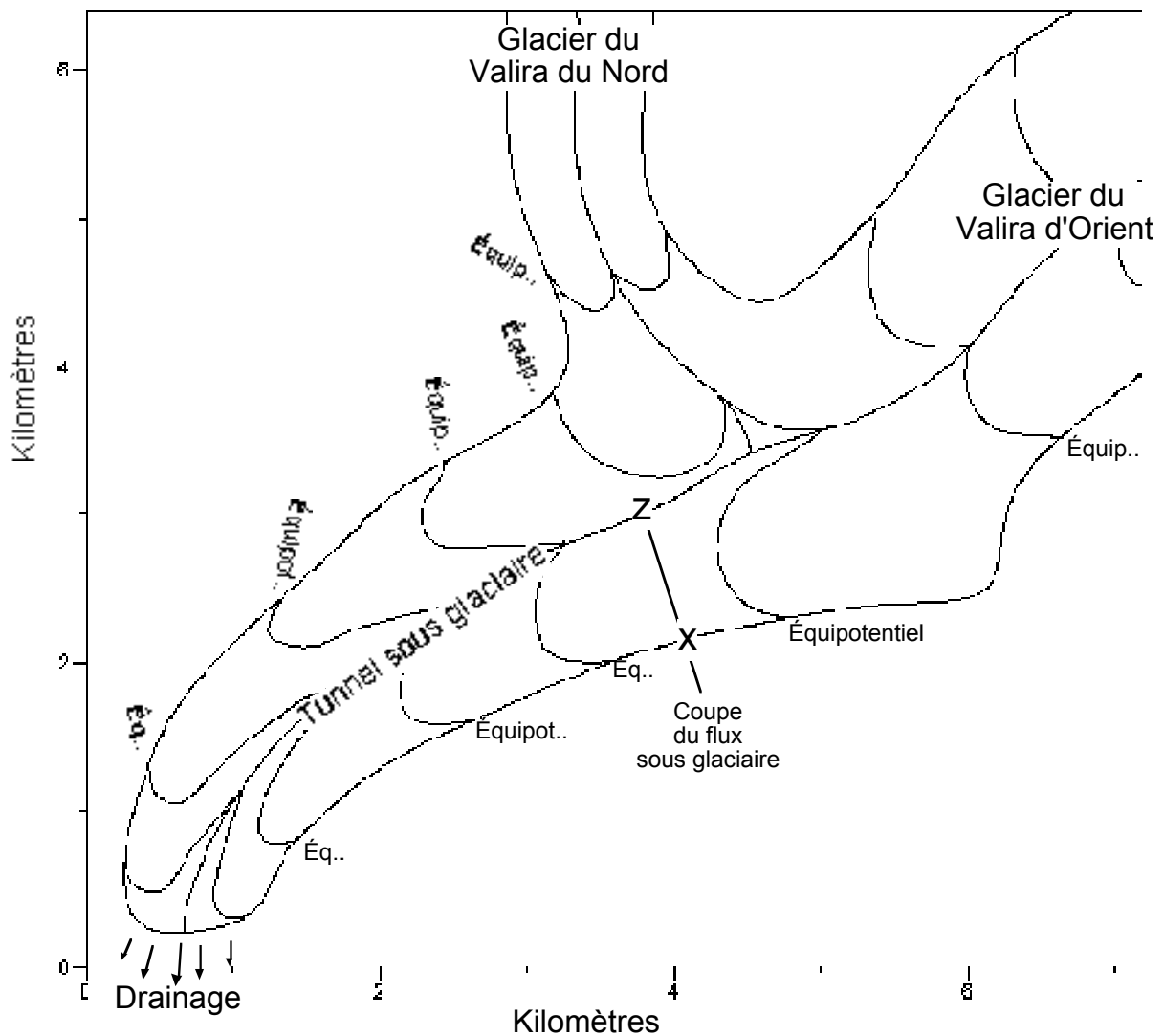
Ces épaisseur de glace ont sûrement eue un impact sur les sédiments du fond de la vallée. Les données des à peu près dix premières années de prospections géophysiques du remplissage sédimentaire des grandes vallées glaciaires des Pyrénées méridionales (voir BORDONAU, 1992) semblent être cohérents avec l'interprétation des trois unités géoélectriques, mais si on surimpose des données géophysiques de type mécanique on peut apprécier que l'unité supérieure présente des valeurs de vitesse sismique anormalement élevées (jusqu'au plus de $V_L = 3000$ m/s) pour des sédiments théoriquement fluviaux selon BORDONAU (1992); en plus, si on rajoute des essais de type géotechnique, comme des essais pressiométriques, on peut voir très fréquemment des hautes valeurs de pression de consolidation dans les sédiments de l'unité intermédiaire (plus de 2 MPa) qui ne peuvent pas être expliquées dans un contexte de sédimentation fluviale, où la consolidation des sédiments est acquise gravimétriquement. Ce type d'expérimentation a été mis en oeuvre dans la vallée de l'Andorre par TURU (2000) observant des remarquables corrélations entre les hautes vitesses sismiques et les valeurs élevées de consolidation, et aussi une très nette corrélation entre les hautes valeurs de consolidation et des tills sous-glaciaires formées dans un contexte de très hauts gradients hydrauliques, comme ceux décrits par BOULTON & HINDMARSH (1987), BOULTON & DOBBIE (1993) et BOULTON *et al.* (2001); par cette raison TURU (2000) réinterprète la unité intermédiaire comme essentiellement glaciaire, où les poussées glaciaires peuvent être très fréquents comme dans le cas étudié sédimentologiquement de la Vallée de La Massana et Ordino (PRAT, 1980).

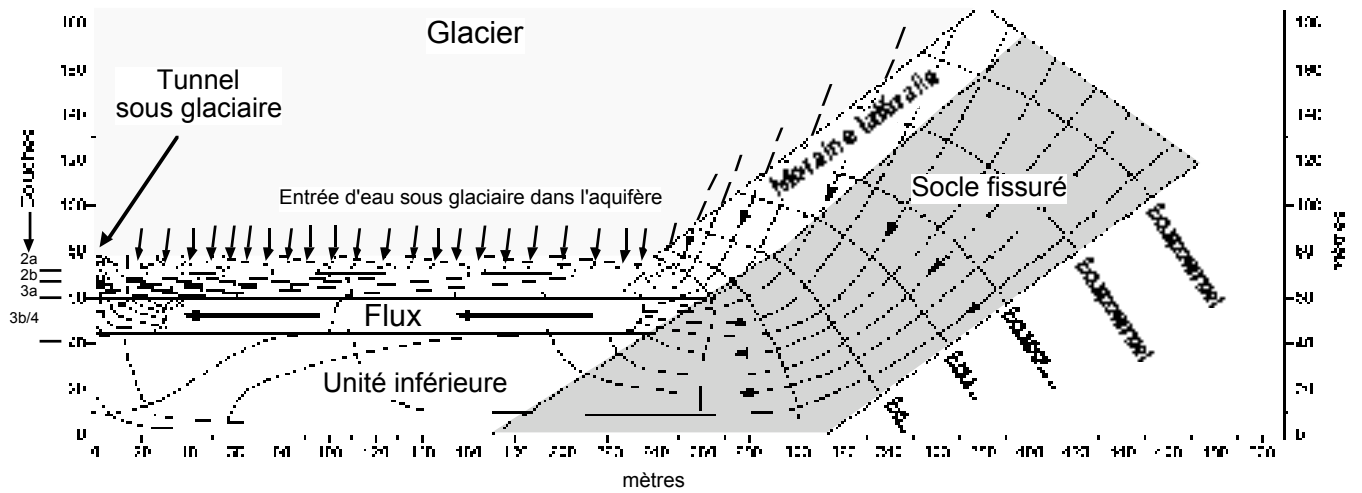
Les prospections du sous-sol publiés jusqu'à présent ont permis d'obtenir une colonne stratigraphique type ainsi comme une coupe type du sous-sol de la vallée. La composition de l'unité intermédiaire est en général celle d'une structure binaire de ces couches surconsolidées (type "a") séparés par des couches qu'ont une consolidation mineur (type "b"). Etant donnée qu'il y a quatre couches surconsolidées (glaciaires) on trouve alors aussi quatre autres couches peu consolidées; l'architecture de l'unité intermédiaire peut être résumé de toit à la base avec une succession des couches selon l'ordre suivant: bicouches 1a, 1b, bicouches 2a, 2b, bicouches 3a, 3b, et couches 4 et 5, où la dernière de ces couches correspond à l'ensemble de l'unité inférieure (interglaciaire) et la couche 4 au premier till du dernier cycle glaciaire, tandis que les couches 3a, 2a et 1a correspondent à des couches de till liées à des avancées glaciaires, avec des hauteurs de glace de plus de 525 m pour l'avancée de la bicouche 3, environ 375 m pour l'avancée de la bicouche 2 et finalement 250 m pour l'avancée de la bicouche 1 en fonction des données de préconsolidation des couches.



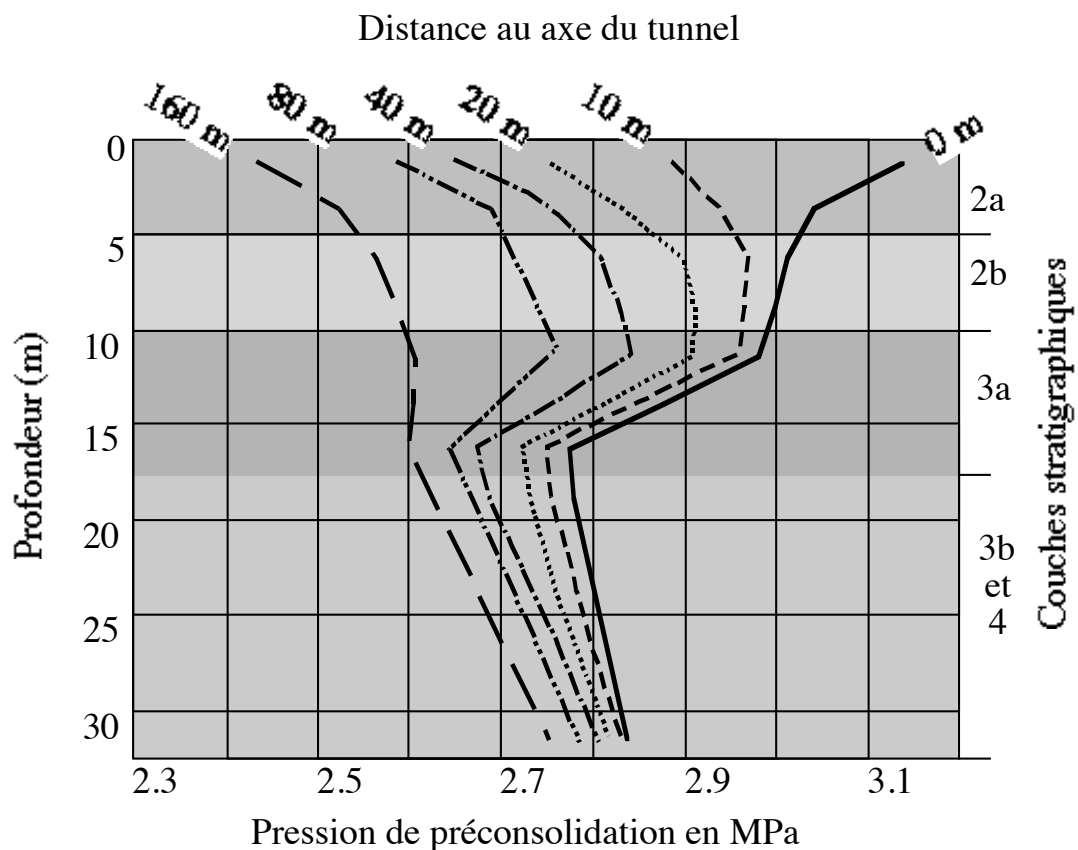
Profil stratigraphique de synthèse du bassin d'Andorre la Vieille avec la corrélation entre les données géophysiques et hydrogéotechniques. Du point de vue de la composition sédimentaire de ces niveaux, on peut faire la séparation des bicouches 1a/1b et 2a/2b généralement massives, par rapport aux autres niveaux grâce à la prédominance des blocs, des galets ainsi que des graviers et des sables (en plus). On a pu également observer dans les coupes de terrain des structures de type tractif (imbrication des clastes). Les bicouches 3a/3b et 4a/4b présentent des faciès nettement glaciaires (till sous-glaciaire); des rythmites proximales et distales avec présence de limons et sables, grano-classement et laminations. Les niveaux les plus consolidés peuvent présenter, dans la partie supérieure, une couche de till sous-glaciaire.

La pression effective dans les niveaux « b » doivent rester très basses pendant toute la déglaciation, c'est à dire que la pression en eaux doit être très grande et isolée du système de drainage, si non il est impossible de conserver les niveaux de type "b" non consolidés avec un glacier au-dessus. Le modèle conceptuel à retenir c'est que le glacier draine par un tunnel central, et avoir des entrées latéraux (entre la moraine latérale et le glacier). Évidences géologiques indiquent l'existence des tunnels majeurs suivant l'axe et les marges de la Vallée glaciaire (TURU, 2007a et b).

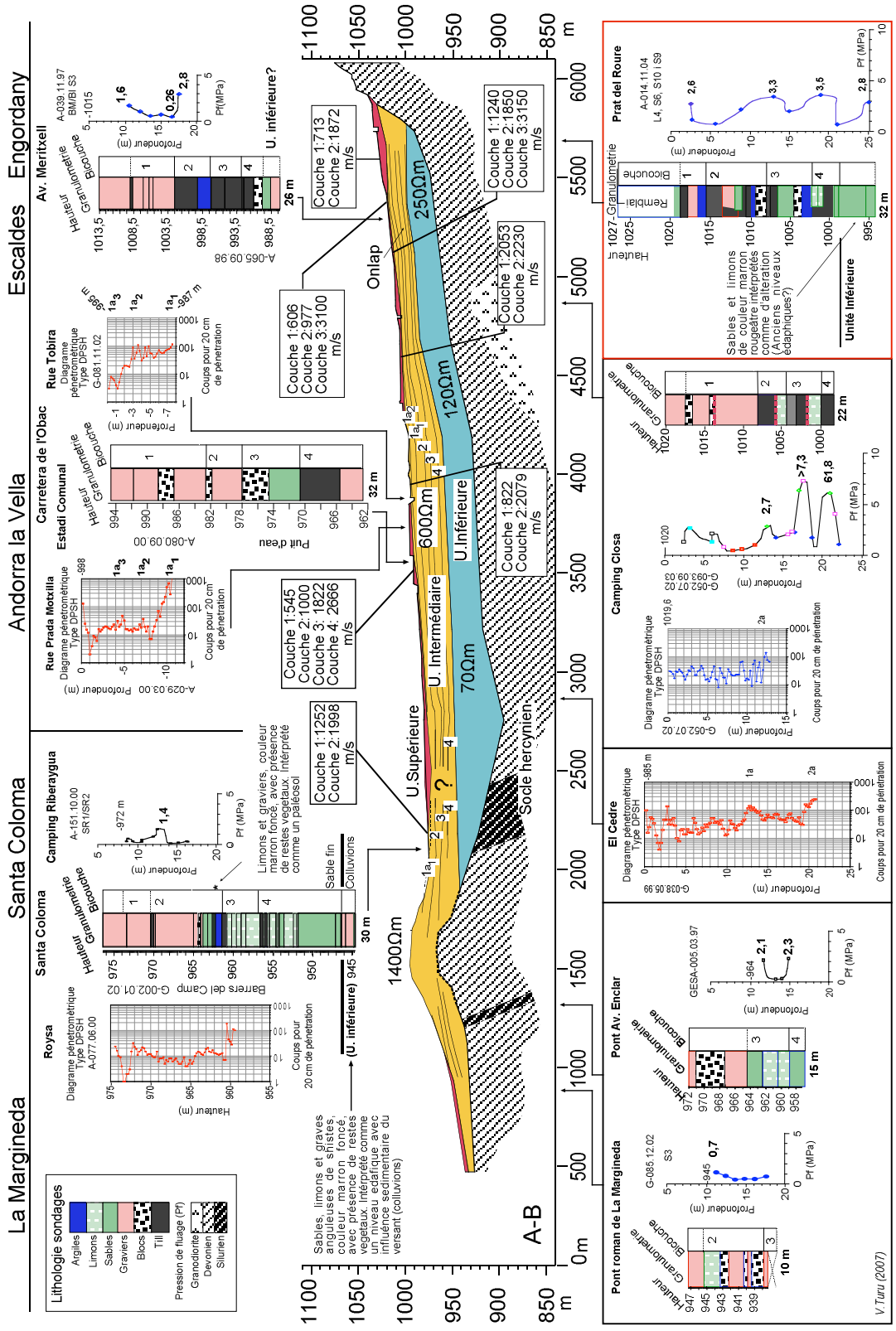




Quand il y a la fonte saisonnière ou climatique les niveaux piezométriques dans les latéraux du glacier doivent être maximales (condition de flotation) tandis que dans le centre du glacier ils doivent être minimales (pression atmosphérique), dans ce contexte, un soulèvement partiel du glacier est possible dans les parties latéraux (pression effective zéro et décollement) pouvant ainsi transmettre tout son poids (pression effective maximal et consolidation) au sous-sol du centre de la vallée. Tous les cas intermédiaires sont possibles entre ces deux cas antagoniques, et avoir alors un modèle de consolidation des couches preconsolidées similaires à celles calculés.



(AB) Vallée d'Andorre la Vieille (Pyrénées Orientales)

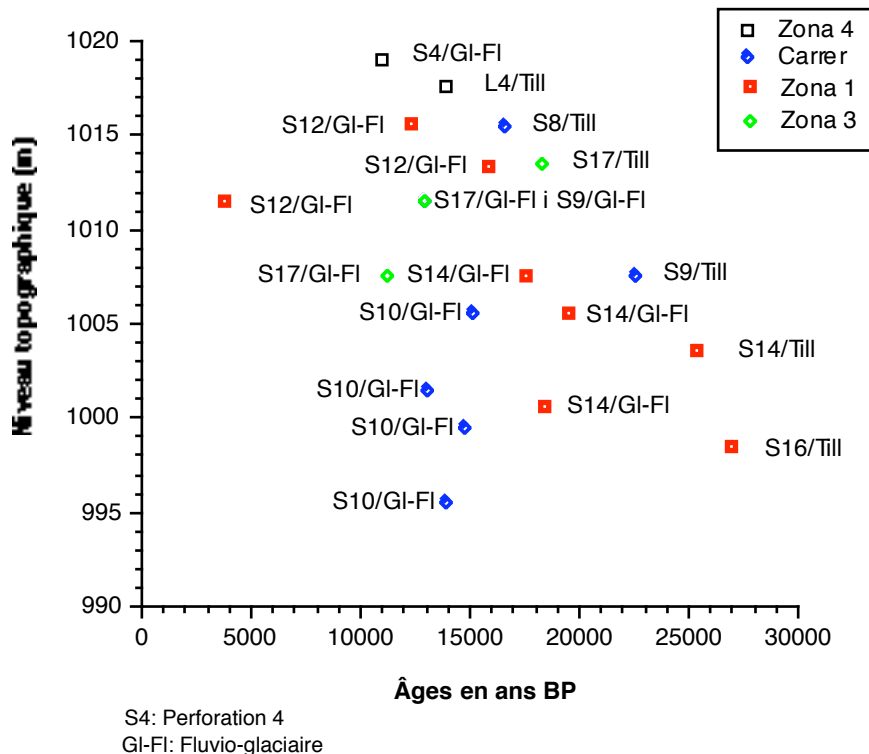


Coupe AB. Les couches sísmiques de haute vitesse sont étroitement liées à des couches avec des hautes valeurs de résistance mécanique. Les forages carottés et les prélèvements intacts sélectifs ont permis de reconnaître la nature des couches étudiées. Les valeurs de consolidation (pression de fluage, Pf) les plus élevées sont dans les parties hautes du bassin (Les Escaldes) et les plus faibles vers l'aval (Santa Coloma - La Margineda)

La coupe AB est basée en l'interprétation géophysique en sondages électriques verticaux (VES), à partir desquels ont pu être distinguées trois unités géoélectriques majeures déjà décrites par BORDONAU (1992) dans autres vallées des Pyrénées. L'unité supérieure est formée d'alluvions subactuelles. Dans l'unité intermédiaire ont été reconnus ces couches compactes à partir de sismique à réfraction et des essais pressiométriques. Souvent, on constate la présence d'une couche plus ou moins importante de tills sous-glaciaires au toit des couches consolidées (glaciotectonite). Entre les couches consolidées on trouve aussi des niveaux avec des restes végétaux qui traduisent un milieu sédimentaire sub-aérien, et pourtant une retraite important du front glaciaire. L'ensemble de l'unité inférieure n'est pas connue, mais les basses valeurs de résistivité électrique suggèrent la présence de matériaux à granulométrie fine considérés, suivant BORDONAU (1992) comme associés à des lutites glacio-lacustres. Mais les différentes évolutions édaphiques des niveaux de paléosols observés par carottage nous suggèrent la possibilité d'avoir en même temps des dépôts sédimentaires d'âge différent dans cette unité (TURU *et al.*, 2007).

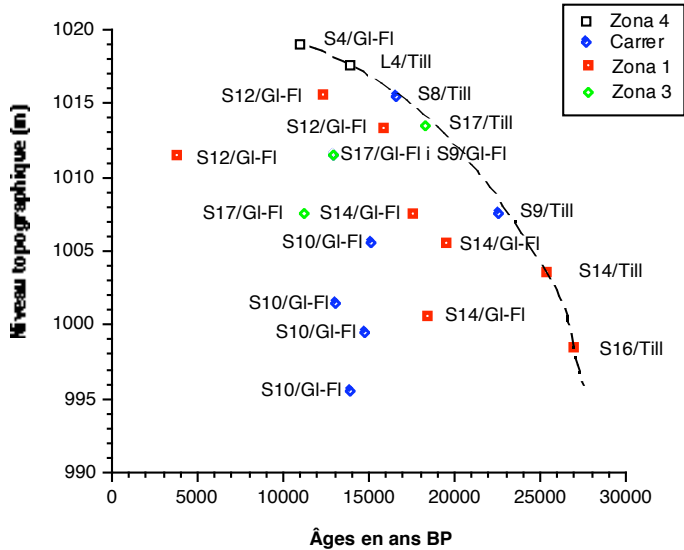
L'âge de l'unité intermédiaire a été daté par AMS avec des résultats très disparates dans le site cadre en rouge dans la coupe AB, avec beaucoup d'inversions d'âge, également que BORDONAU (1992) précédemment à Vilaller :

Prat del Roure datations AMS 14C

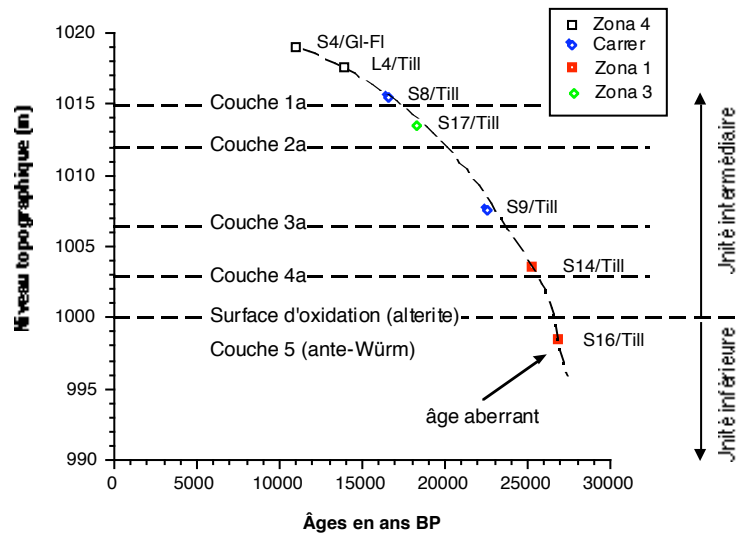


Comme à Vilaller le bas contenue on matière organique fait qu'une petite quantité de matière organique récente peut altérer l'âge réel. Dans ce site ont à pu constater une forte corrélation entre perméabilité et alteration d'âge 14C. Comme ça les tills sous-glaciaires font l'enveloppe d'âges les plus vieilles, car les sédiments plus perméables ont subit un rajeunissement. En supprimant les niveaux permébles et si mettons les couches stratigraphiques on obtien un âge plausible, sauf pour le till présent dans l'unité géoélectrique inférieure.

Prat del Roure datations AMS 14C



Prat del Roure datations AMS 14C



Échantillons de till (basse perméabilité)

Avec les datations AMS des tills sous-glaciaires, les âges cosmogéniques et les poussées glaciaires datés dans la vallée latérale de La Massana, on obtien la suivant corrélation :

Phase	Valira du Nord	Valira d'Orient	Andorre vallée	Âge
Stabilisation		Engolasters M1		> 25 Ka
Déglaciation	Till 1	Engolasters M2a	Couche 3	21.570±70 BP
	Till 2	Engolasters M2b	Couche 2	18.220±60 BP
	Till 3	Engolasters M3	Couche 1	16.610±60 BP

Bibliographie arrêt 5 :

BORDONAU, J. (1992) ELS COMPLEXOS GLACIO-LACUSTRES RELACIONATS AMB EL DARRER CICLE GLACIAL ALS PIRINEUS, Geoforma, 251pp, Logroño

BOULTON G.S. i HINDMARSH, R. C. (1987) Sediment deformation beneath glaciers: rheology and geological consequences; *J. Geophys. Res.*, B92, 9059-9082

BOULTON G.S. i DOBBIE, K.E. (1993) Consolidation of sediments by glaciers: relation between sediment geotechnics, soft-bed glacier dynamics and subglacial groundwater flow; *J. Glaciology*, 39, 26-44.

BOULTON, G.S.; DOBBIE, K.E. et ZATSEPIN, S. (2001) Sediment deformation beneath glaciers and its coupling to the subglacial hydraulic system; *Quaternary International*, 86, 3-28

PRAT, M.C. (1980) MONTAGNES ET VALLEES D'ANDORRE, ETUDE GEOMORFOLOGIQUE, Thèse de III cycle, Inst. de Géogr. de la Univ. de Bord. III, 267 pp, Bordeaux

TURU, V. (2000) *Aplicación de diferentes técnicas geofísicas y geomecánicas para el diseño de una prospección hidrogeológica de la cubeta de Andorra, (Pirineo Oriental); IMPLICACIONES PALEOHIDROGEOLOGICAS EN EL CONTEXTO GLACIAL ANDORRANO; ACTUALIDAD DE LAS TÉCNICAS GEOFÍSICAS APLICADAS EN HIDROGEOLOGIA*, ITGE (Ed.), Granada 10 al 12 de maig de 1999, pàg 203-210

TURU, V. et PEÑA, J.L. (2006) Ensayo de reconstrucción cuaternaria de los valles del Segre y Valira (Andorra-La Seu d'Urgell-Organyà, Pirineos Orientales): morrenas y terrazas fluviales. In: Pérez-Alberti, A. Y López-Bedoya, J. (ed.). *Geomorfología y Territorio: Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología, Santiago de Compostela 13-15 septiembre 2006*. Universidad de Santiago de Compostela, 171, 113-129.

TURU, V. (2007a) Pressuremeter test in glaciated valley sediments (Andorra, Southern Pyrenees), part one: an improved approach to their geomechanical behaviour; *Landform Analysis*, 5, 89-94

TURU, V. (2007b) Pressuremeter test in glaciated valley sediments (Andorra, Southern Pyrenees), part two: fossil subglacial drainage patterns, dynamics and rheology; *Landform Analysis*, 5, 95-101

TURU, V. et al. (2007) Structures des grands bassins glaciaires dans le nord de la Péninsule Ibérique. Comparaison entre les vallées d'Andorre (Pyrénées Orientales), du Gállego (Pyrénées Centrales) et du Trueba (Chaîne Cantabrique); *Quaternaire*, 18, 309-325