



Programme opérationnel Interreg IVA
France-Espagne-Andorre 2007 – 2013



SISPyR

Sistema de Información Sísmica del Pirineo Système d'Information Sismique des Pyrénées Sistema d'Informació Sísmica dels Pirineus

Shake-Map

Site effect corrections

Action 4 – Sub Action 4.1



Authors: Colas B⁵, Goula X.¹, Rouillé A.⁵, I. Garcia⁶, P. Buxo⁶, I. Roviro¹, J., Dewez T.⁵, Nus E.¹

Keywords: shake-map, site effects, seismic zonation, Pyrenees

1. IGC, Intitut Geològic de Catalunya
2. OMP, Université Paul Sabatier, Observatoire Midi-Pyrénées
3. UPC, Universitat Politècnica de Catalunya
4. IGN, Instituto Geográfico Nacional
5. BRGM
6. GEOCAT

© 2012 SISPYR project

Synopsis

The Pyrenean Region is one of the highest seismic hazard areas in France and Spain. Many disastrous seismic events were related in past e.g. in 1428 which is the most important known earthquake with an estimated epicentral intensity of IX (Olivera and al., 1994). The recent seismicity is characterized by low-to-moderate magnitude events which can locally affect people located in urban areas as the 2006 Lourdes earthquake in France.

This study is part of the European project SISPYR, which aims at mitigating seismic risk in Pyrenees. Part of the work of this project consists in building an operating system able to produce real time Shake-Map for all Pyrenees. Actually, a reliable evaluation of ground motion shortly after a main earthquake is critical for an efficient organization of emergency services.

This system, based on the USGS ShakeMap tool, works as follows:

- acquisition of real strong motion data (PGA, PGV..) at bedrock condition
- acquisition of interpreted macroseismic data
- modelling strong motion parameters on the target area from a grid of regularly spaced stations
- ensuring consistency between measured and simulated data, bias correction
- taking account soil amplification
- producing maps

This report presents the geological based method used for determination of local site amplification effects, necessary to take into account for soil amplification. This method follows next described steps:

- geological zonation according geomechanical behaviour for basement and quaternary deposits for all Pyrenees
- definition of several types of soil column
- assignment of main soil classes from soil column and EC8 building code
- mapping on 500 m grid mesh of soil classes
- attribution of amplification coefficient respectively from classes.

Considering superficial geological formations and different vertical soil column types, study zone is fully determined by 6 classes of site condition. To evaluate site effects, it is proposed to calculate the values at the surface from the strong motion data at bedrock condition via an amplification coefficient computed. The computation is done at each node of grid of the mesh, for all Pyrenees, according specifically assignation of a response spectrum and amplification factors for each modified-EC8 classes defined.

Contents

1.	Introduction	9
2.	Site effects corrections.....	11
2.1.	Site corrections methods.....	11
2.1.1.	Vs30 Maps	12
2.1.2.	Amplification factors	12
2.2.	Site effects methodology used in ShakeMap implementations	14
2.2.1.	Methods inventory	14
2.2.2.	Attempt of Vs30 - morphometric parameters correlation for Pyrenees	15
3.	Site Condition Map.....	21
3.1.	Available database	21
3.1.1.	Geology	21
3.1.2.	Geotechnical data	23
3.1.3.	Seismic zonation	23
3.2.	Lithological qualification	23
3.3.	Ground types.....	26
3.4.	Characterization of the thickness of deposits.....	29
3.5.	2,5 D model for Pyrenees – Homogeneous soil columns	31
3.6.	EC8-SISPYR Macrozonation map	32
3.7.	Back analysis	35
3.7.1.	Existing seismic micro/meso/macro zonation.....	35
3.7.2.	SISPYR seismic network site condition.....	43
4.	Amplifications factor determination	45
4.1.	Response spectra and ΔI	45
4.2.	Amplification factors (Fa, Fv).....	50
4.2.1.	Qualitative description	50
4.2.2.	Amplification periods and Fa/Fv	51
4.2.3.	Fa and Fv computation.....	52
4.3.	Amplification in terms of intensity	54
5.	Conclusion	57
6.	References	59
6.1.	Sispyr reports (Action 4.1).....	59
6.2.	Bibliographic references.....	59

List of Illustrations

Figure 1 – Schema of the shake-map process.....	9
Figure 2 – Two main methodologies to calculate Vs30-amplification factors at a site	11
Figure 3 – Calculation of amplification for Short-Period (F_a) and Mid-Period (F_v)	13
Figure 4 – Site correction amplification factors (equations of Borcherdt (1994 -)	13
Figure 5 – Site effects implementation for ShakeMap in US and Europe.....	15
Figure 6 – Variation of slope, texture, and convexity with terrain categories (Yong et al. 2012).....	15
Figure 7 – Geomorphometric zonation for Pyrenees & Luchon area (from Iwahashi & Pike 2007)	16
Figure 8 – Prediction Vs30 based on Iwahashi & al. (2010)	18
Figure 9 – Prediction of EC8 class based on Iwahashi & al.....	19
Figure 10 – Mean values of Vs30 (indicated as ‘AVS30’) for geomorphologic categories in JEGM. From Matsuoka et al. (2006)	20
Figure 11 – Geological map of Pyrenees (1 :400 000), BRGM-IGME	22
Figure 12 – Quaternary deposits map of Pyrenees (1 :400 000), BRGM-IGME	22
Figure 13 – Lithological classification.....	25
Figure 14 – GIS soil columns description.....	25
Figure 15 – Geological classification map “2,5 D”	26
Figure 16 – ground types from EC8 rules	27
Figure 17 – exemples ground types from EC8 rules	28
Figure 18 - Geomechanical classification SISPyr vs soil column (soil type / ground depth or thickness)	29
Figure 19 – Geomechanical classification SISPyr by type of grounds and its thickness	30
Figure 20 – Geomechanical classification SISPyr by type geological domains	31
Figure 21 – Deep tertiary deposits & Soft Soil Thickness classes	31
Figure 22 – Homogeneous soil columns defined	32
Figure 23 – EC8-SISPyR modified classes	33

Figure 24 – SISPyr site condition map.....	34
Figure 25 – Lourdes micro/macro seismic maps	35
Figure 26 – Lourdes micro/macro seismic zonations comparison	36
Figure 27 – Cerdanya micro/macro seismic zonation comparison	37
Figure 28 – Cerdanya micro/macro seismic zonation maps	38
Figure 29 – Val d'Aran micro/macro seismic zonation maps	40
Figure 30 – Vielha seismic zonation map	40
Figure 31 – Seismic zonation maps for Girona	41
Figure 32 – Seismic mesozonation of Catalunya (EC8 Sispyr) vs microzonation (Girona) .	41
Figure 33 – Seismic macrozonation of Girona.....	42
Figure 34 – GIS comparison example from SISPYR site condition map vs station site condition description	43
Figure 35 – Global comparison of SISPYR site condition map vs station site condition description.....	44
Figure 36 - General shape of proposed spectra (EN 1998-1) elastic response spectrum...	45
Figure 37 - EC-8 normalized elastic response spectrum for each ground type for earthquake type I.	46
Figure 38 - EC-8 normalized elastic response spectrum for each ground type for earthquake type II	46
Figure 39 - French national annex normalized elastic response spectrum for each ground type	47
Figure 40 - Spectra parameters for EC-8 (type I and type II) and for French code (French national annex of EC-8)	47
Figure 41 - Spectrum proposals for each SISPyr ground type	48
Figure 42 - Proposed spectrum for each SISPyr ground type.	49
Figure 43 - Main spectra parameters for different national codes (Bernal, 2011).....	49
Figure 44 - Default ShakeMap amplification factors (Borcherdt, 1994) Classes refers to NEHRP ground types <> EC8	50
Figure 45 - Expected amplification periods (column 2), qualitative description of Fa, Fv and relation about Fa and Fv for each ground type.	51

Figure 46 – Amplification factor for each SISPyr ground type and for all the periods	52
Figure 47 – Amplification factor for each French ground type and for all the periods	53
Figure 48 – Ratios of soil response spectra at 5% with rock response spectra at 5%. At defined periods (0.2 s and 1.0 s) and mean between defined intervals (0.1-0.5 for Fa or 0.4-2.0 for Fv).	53
Figure 49 – Spanish seismic code ground types and associated Fa and Fv computed at 5% damped response spectra.....	54
Figure 50 – Fa and Fv assignation to each SISPyr ground type.....	54

Appendix

Appendix 1 IGC (2011) SISPYR: Sintesi dels dipòsits quaternaries i cubetes neògenes en el Sector ibèric (Guipuzcoa, Navarra Atragó i Catalunya).....	65
Appendix 2 BSS – French Borehole database valorisation.....	67
Appendix 3 EC8 Classification & geotechnical parameters	73
Appendix 4 Presentation EuReGeo – Bologna 2011 “Geological based seismic macrozonation of Pyrenees”	77

1. Introduction

The action 4.1 SISPyr project is to produce an automatic and fast response cards ground motions for Pyrenean earthquakes greater than magnitude 3. For this version v3.5 the most recent USGS Shakemap software is used as input data with the parameters of movements recorded on seismic ground stations and macroseismic intensities across the town. The generation of shake-map suppose definition of many parameters in relation of the region where the process is applied:

- choice of empirical ground motion relations, intensity and conversion between these two parameters and comparisons with regional seismic data;
- development of a map condition border site from a geological and geotechnical factors and definition of amplification applied to each soil class approach;
- establishment of a procedure for rapid response to manage automatically the initiation of the procedure, data retrieval and ground motion intensity, the calculation of the cards ground movements and their distribution on the Internet.

The main process is presented on Figure 1:

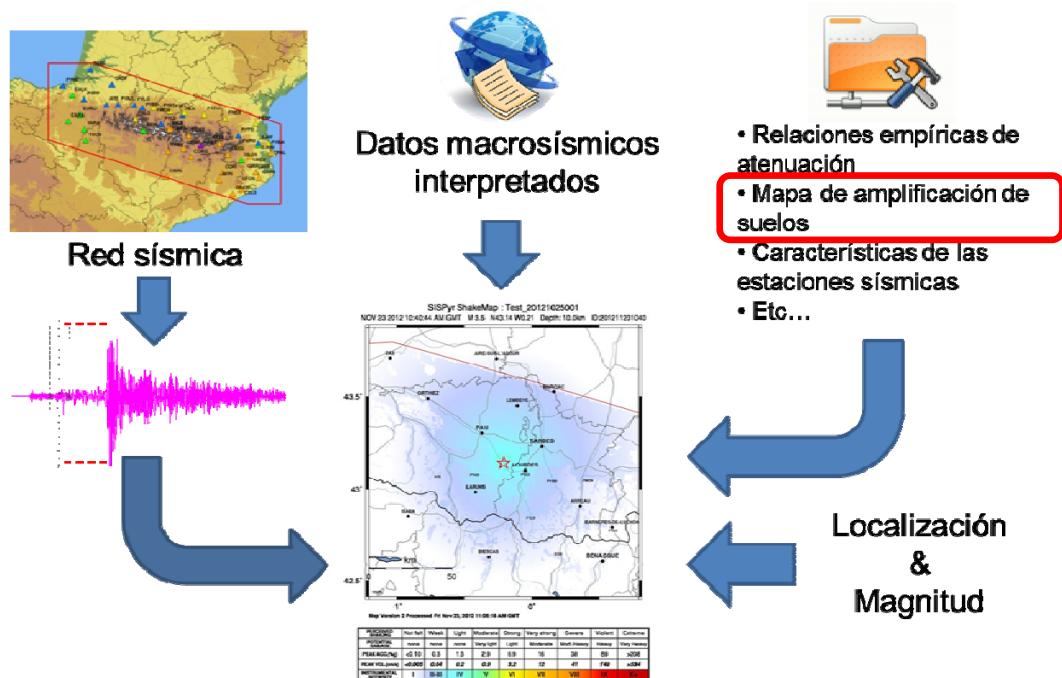


Figure 1 – Schema of the shake-map process

This report presents the studies conducted to define amplification applied on each point of the study area.

2. Site effects corrections

Site corrections are used to interpolate from ground-motions recorded on a fairly sparse non-uniformly spaced network of stations to maps showing spatially continuous functions (that is, color-coded intensity or contoured peak ground-motion values). For example, direct interpolation between rock sites surrounding a basin may inadequately represent the true, amplified motion within the basin.

For defining the site effects two options are available:

- compute it via the GMPE site effects term (then the data is always on the surface and never corrected to the rock base).
- correct the data to basement rock and calculate the values at the surface via amplification computing at each place.

Both options require a site condition map. This map has to be entered to ShakeMap as a GMT (.grd file) over the entire region of interest.

SISPYR project takes in account the 2nd solution which imposes a second requirement: site amplification factors as a function of site condition (described by proxy as Vs30 and frequency of input ground motion).

2.1. Site corrections methods

Except for the very specific methodology developed in Romania by Böse et al (2009), ShakeMaps implementations around the world are illustrated in Figure 2:

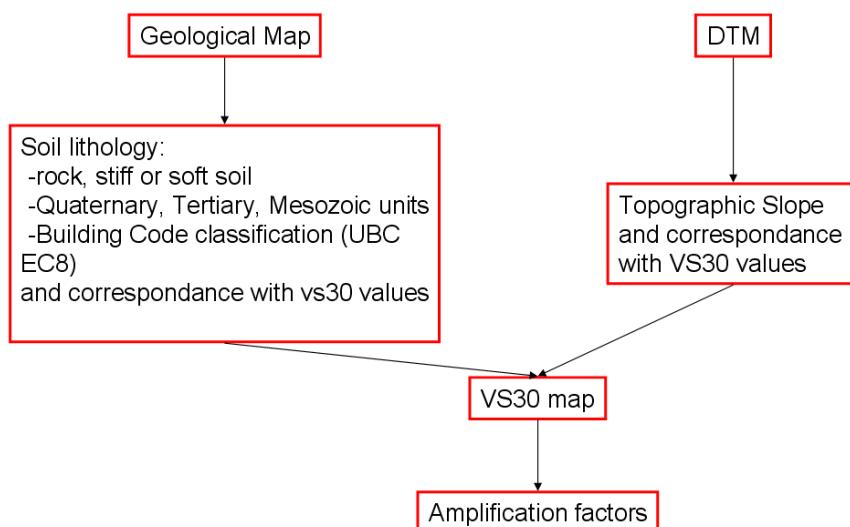


Figure 2 – Two main methodologies to calculate Vs30-amplification factors at a site

On a first step, site condition maps are built. One simple method of accounting for site conditions, considering impedance alone, is to use the shear-wave velocity (V_s) in the shallow subsurface to develop a site conditions factor. Shearwave velocity averaged over the upper 30 m (V_s 30) is the basic parameter. Amplification factors are usually derived in ShakeMap implementations from V_s 30 values using Borcherdt (1994) method.

The default input parameters for ShakeMap site corrections are V_s 30 map and amplification factors. The new ShakeMap version 3.5, allows you to compute site corrections direct with the GMPE site corrections term, then the amplification factors are no required.

In order to define the site corrections we have to answer the questions:

- What are the parameters to use to determine the amplification factors?
- How are these parameters obtained for our area of study?
- How the amplification factors from these parameters is calculated?

2.1.1. Vs30 Maps

State of art report (Bertil & al. 2010 – Sispyr project report R07) presents a review of some of the studies relating the methods to determine parameters (mainly V_s 30) from which could be derived the amplification factors and some methods for determining the amplification. Are distinguished:

- V_s 30 maps from geological and geotechnical data (age geologic units as proxy for classification, correlation between units and V_s 30, both geological-geographical approaches for zonation of V_s 30...);
- V_s 30 maps from topographic slopes: main method described by Wald and Allen (2007). It is proposed to derive first-order V_s 30 (shear-wave velocity data averaged down to 30 m) maps from topographic data. The authors correlated V_s 30 from the United States, Taiwan, Italy, and Australia with the topographic slope in active tectonic regions and stable shields, using global 30 arc sec topographic data. They found that the use of topographic slopes and their empirically assigned V_s 30 values provide a simple approach to a uniform site-condition mapping which might be usable for shake map generation. Other new development on topographic proxies is based on a geomorphometry approach (Iwahashi & Pike, 2007). This approach is tested in the frame of project (§ 2.2.2).

2.1.2. Amplification factors

Amplification factors from V_s 30

Borcherdt et al. (1991) showed a correlation between amplification of ground motions and shearwave velocity averaged over the upper 30 m (V_s 30). More recent mapping of site conditions has generally followed this method of grouping geologic units with similar shear-wave velocity characteristics, and describing those characteristics in

terms of the Vs30. Vs30 has become a standard element for consideration of site conditions based on further empirical ground-motion studies of Borcherdt (1994), which show a consistent relationship between site response and Vs30.

The amplifications can be calculated for short-period (0.1-0.5 s) and mid-period (0.4-2.0 s) ranges from Borcherdt (1994, equations 7a and 7b, respectively) at four ranges of input acceleration levels (see Borcherdt, 1994, table 2). These amplification factors are given in Figure 4 – Site correction amplification factors (equations of Borcherdt (1994 - Erreur ! Source du renvoi introuvable.)

. The amplification for the soil sites decreases with increasing ground-motion levels; the rock units have a less pronounced amplitude dependency.

The proposed relations for determining the amplification factors at low periods (F_a) and mid-periods (F_v) are (Borcherdt, 1994):

$$F_a(v, I) = (v_o / v)^{m_a}, \quad m_a = \text{Log}[F_a(v_{SC-IV}, I)] / \text{Log}[v_o / v_{SC-IV}],$$

$$F_v(v, I) = (v_o / v)^{m_v}, \quad m_v = \text{Log}[F_v(v_{SC-IV}, I)] / \text{Log}[v_o / v_{SC-IV}],$$

Figure 3 – Calculation of amplification for Short-Period (F_a) and Mid-Period (F_v)
 v_{SC-IV} is the shear velocity for the soil type IV; v_o is the shear velocity of the basement, and I is the input ground motion level.

Vel (m/s)		Short Period (PGA)				Mid-Period (PGV)		
		150	250	350		150	250	350
686		1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00
724		0.98	0.99	0.99	1.00	0.97	0.97	0.97
464		1.15	1.10	1.04	0.98	1.29	1.26	1.23
372		1.24	1.17	1.06	0.97	1.49	1.44	1.38
301		1.33	1.23	1.09	0.96	1.71	1.64	1.55
298		1.34	1.23	1.09	0.96	1.72	1.65	1.56
163		1.65	1.43	1.15	0.93	2.55	2.37	2.14
								1.91

Figure 4 – Site correction amplification factors (equations of Borcherdt (1994 - Erreur ! Source du renvoi introuvable.)
 Vel is velocity in m/s; PGA is cutoff PGA in gals
 Vel is the upper bound of the velocity range

There are many authors that study the amplification factors derived from Vs30 (see state of art). On the other hand, amplification factors can be derived from other methods based on seismological information or on macroseismic information for example.

2.2. Site effects methodology used in ShakeMap implementations

2.2.1. Methods inventory

Figure 5 – Site effects implementation for ShakeMap in US and Europe.

Figure 5 resumes methodology used to calculate site effects for ShakeMap in US and Europe.

Region	Site effects
Global	Topographic slope Wald and Allen (2007) Amplification: Borcherdt (1994)
South California, default regression	Vs30: Wills et al.(2000) Amplification: Borcherdt (1994)
North California, default regression	Vs30: Wills et al.(2000) Amplification: Borcherdt (1994)
California	Vs30: Wills et al.(2000); and Wentworth (?)
New Madrid	Vs30: Bauer et al. (2001) Amplification: Borcherdt (1994)
Ontario	Assume vertical component doesn't have amplification. Use H/V relations for each station for obtain the horizontal component. A rock site relation is assumed for no data stations.
Utah	Vs30: Ashland (2001), Ashland and McDonald (2003). Amplification: Borcherdt (1994)
Italy	Geology simplification based on EC8. Amplification: Borcherdt (1994)
Southeastern Alps	Geology simplification. Basic resolution. Amplification: Borcherdt (1994)
Romania	Topographic slope Wald and Allen (2007)
Romania (Vrancea)	New method: determines the amplification functions from seismological information.

Figure 5 – Site effects implementation for ShakeMap in US and Europe.

SISPYR methodology is based on a site condition map derived from geological map. Vs30 are deduced as a proxy from EC8 classification.

Vs30 deduced from topographic slopes are not valorised in the frame of the study. However, some works based on geomorphometric approach were carried out in the frame of the project. As results are not so sufficient, this study is described briefly here below.

2.2.2. Attempt of Vs30 - morphometric parameters correlation for Pyrenees

Ground slope, convexity, and texture are jointly analysed using an automated topography classification scheme by Iwashashi and Pike (2007) and Yong (2012) to segregate terrain types into 16 categories, which are depicted in Figure 6.

As one move to the right in the matrix ground slope is decreasing, whereas moving down in the matrix produces less convexity and smoother texture. We note that the classification scheme has relatively fine discretization of rock conditions (rock categories include 1-7, 9, 11, and 13) but limited discretization of soil (e.g., there is no category that would seem to encompass lacustrine or marine clays, which produce the largest site amplification). Results for Pyrenees are illustrated on Figure 7

		Terrain Classification Scheme				Category Description	
		Surface Geometry		Terrain Classes			
Terrain Series	I	Fine texture high convexity	1	5	9	13	1 Well dissected mountains, summits, etc.
	III	Fine texture low Convexity	3	7	11	15	2 Large volcano, high block plateaus, etc.
	II	Coarse texture, high convexity	2	6	10	14	3 Well dissected, low mountains, etc.
	IV	Coarse texture, low convexity	4	8	12	16	4 Volcanic fan, foot slope of high block plateau, etc.
		steep	gentle				5 Dissected plateaus, etc.
							6 Basalt lava plain, glaciated plateau, etc.
							7 Moderately eroded mountains, lava flow, etc.
							8 Desert alluvial slope, volcanic fan, etc.
							9 Well eroded plain of weak rocks, etc.
							10 Valley, till plain, etc.
							11 Eroded plain of weak rocks, etc.
							12 Desert plain, delta plain, etc.
							13 Incised terrace, etc.
							14 Eroded alluvial fan, till plain, etc.
							15 Dune, incised terrace, etc.
							16 Fluvial plain, alluvial fan, low lying flat plains, etc.

Figure 6 – Variation of slope, texture, and convexity with terrain categories (Yong et al. 2012)

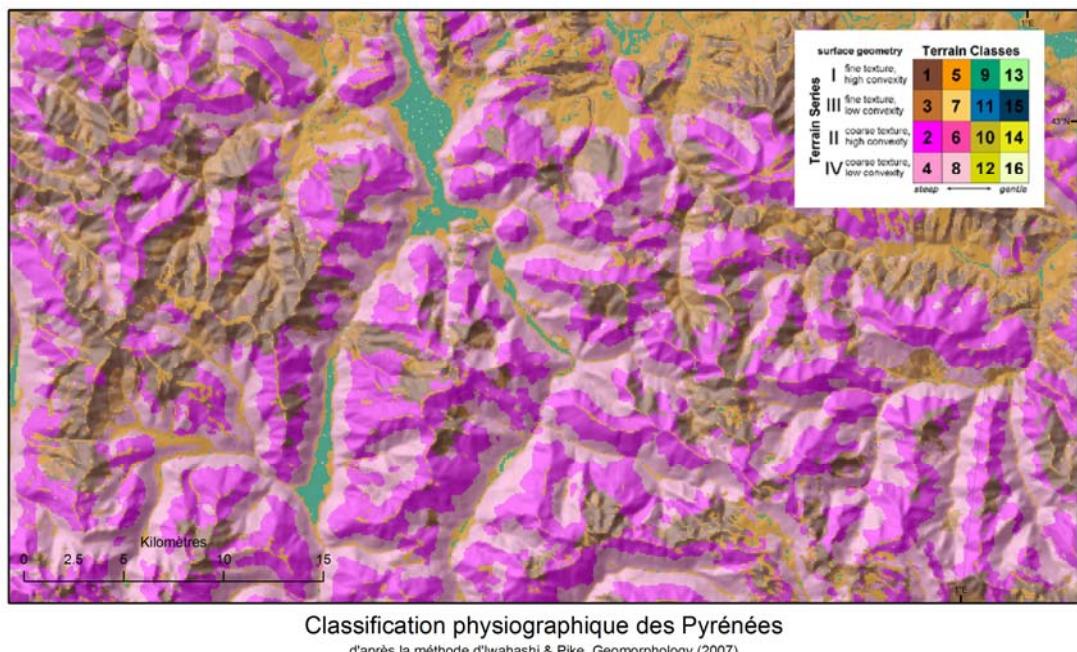
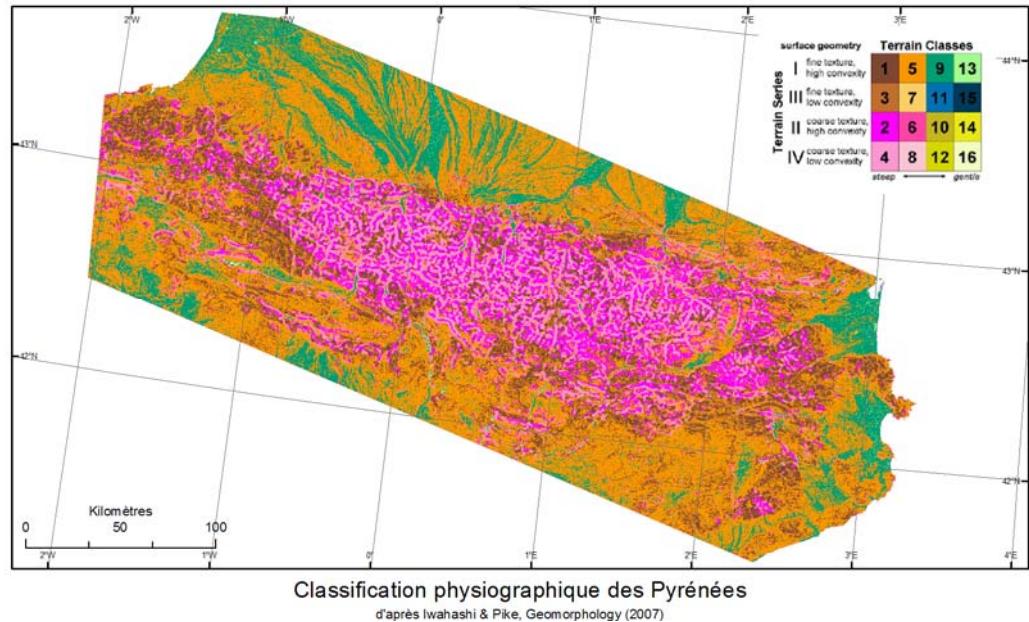


Figure 7 – Geomorphometric zonation for Pyrenees & Luchon area (from Iwashashi & Pike 2007)

Three parameters allow classification: slope, convexity and texture. The calculated slope is the slope of the DEM in degrees. The convexity reflects the density of pixels for which the Laplacian is strictly positive. The search radius of convexity is 10 pixels around the center point (or 900 m with the SRTM3 DEM used). A high value of

convexity translates a large number of pixels convex in the 900 m radius area. A low value reflects watershed plans. The texture density shows the density of peaks and valleys in the 900 m radius area (10 pixels).

After classification into 16 classes, the most frequent class is class 5. It is steeper terrain than the global average without maximum fine texture (many drains) and strong convexity. Found on Class 5 all dissected alluvial fans of the Pyrenean “piedmont”. It is also found on the edge of Cerdagne Basin at the foot of slopes of glacial valleys in areas of accumulation of colluvium.

The second most frequent class is Class 9 (green). It corresponds to a field average slope low, fine texture (many drains) and strong convexity. It is found in floodplains and main river terraces.

In the mountainous part, class 2 (dark pink) and 4 (medium pink) are very common. Class 2 corresponds to a steep terrain, coarse (low drains) and strong convexity. This is the signature of the head of mountain slopes. Class 4 is at the foot of these slopes either side thalwegs. Class 4 is confined to the slope itself and not spread in the valleys where Class 5 describes breaks of slope. In mountainous areas, class 1 corresponds to the heads of slopes where the dissection is higher than for Class 2. This can probably be associated to areas of cirques.

The paper Iwahashi et al. 2010 proposes to use the gradient layers and texture to fit linear regression multi-empirical parameters to predict the numerical value of Vs30. The input parameters are:

- log10 altitude
- slope (degrees) averaged by a moving window of 5x5
- texture (density peak and troughs in a window of 10 pixels radius)

The dataset to calculate the regression is based on 1646 measures Vs30 network KiK-net and K-net. The MNT source has a pitch of 50 m and comes from GSI (Geographical Survey Institute) in Japan.

Multi-regression parameter empirical coefficient of determination R² = 0.31, which is quite low and implies that 69% of Vs30 values are not explained by the regression. Using this relation to all SISPyr's study area provides Vs30 map as shown on Figure 8.

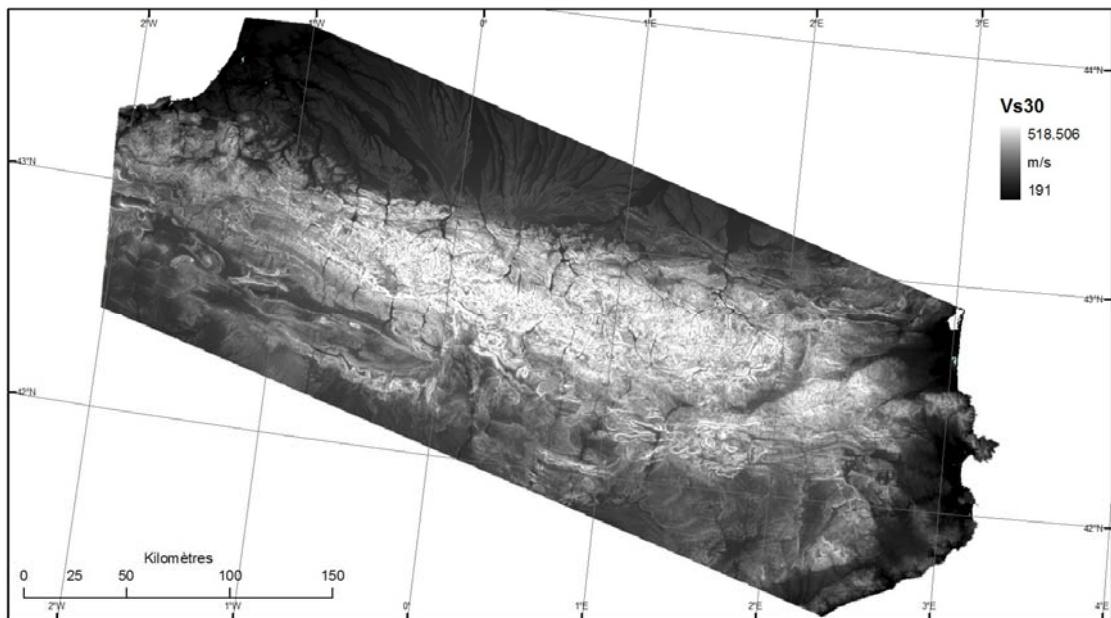


Figure 8 – Prediction Vs30 based on Iwahashi & al. (2010)

The application of the method to Iwahashi et al. 2010 MNT SRTM3 Pyrenees does not lead to a realistic estimate of Vs30. The variation of predicted Vs30 is confined between 191 m / s and 518 m / s. Dynamics is reduced despite the diversity of the landscape of the Pyrenean chain, from the Languedoc ponds and their surrounding plain which must have Vs30 low to very low, to the slopes and summits where the sound rock outcrops.

This underestimation of the dynamic value can be explained by the resolution of the DTM SRTM3 compared to MNT GSI 50m initially used for calibration.

The resolution of MNT played on the slope values. The higher the resolution is small (eg. 50m), the more the slope values are strong. The corollary, the resolution is low (eg 90m), less the estimated slopes are low. If we apply an empirical relationship to a lower resolution DEM, the values are underestimated. So the prediction of Vs30 work is also influenced by this parameter (Wald and Allen).

However, to end the process an EC8 map can be proposed for Pyrenees from the Vs30 map built only from morphometric parameters (Figure 9). This map is demonstrative of the work still to be produced to improve the method (no A class as known rock for example).

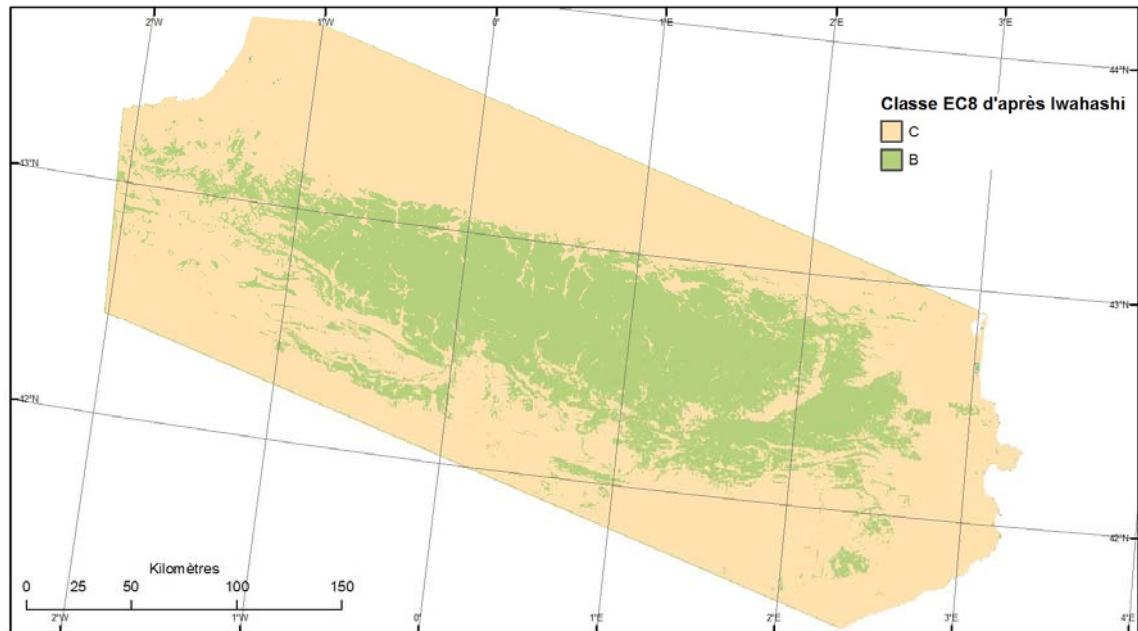


Figure 9 – Prediction of EC8 class based on Iwahashi & al.

Tracks of progress are to calibrate new empirical coefficients regarding a 90m DEM applied on Vs30 Japan database for example. On the other side, production of empirical relationship with the Pyrenean data Vs30 could be very useful.

Recent developments are also carried out by Matsuoka & al. (2006) that provide Vs30 values for categories within the “Japan Engineering Geomorphologic Classification Map (JEGM).” The JEGM actually utilizes geomorphology, surface geology, slope angle, and relative relief to classify locations into **geomorphologic units**. The empirical correlations are based on shear wave velocity profiles from 1937 sites. The categories and their median values of Vs30 are indicated in Figure 3 (indicated as ‘AVS30’ in the Figure 10).

Categories 1-4 correspond approximately to rock conditions, 5-7 are transitional categories, and categories of 8 and above represent variable soil conditions. Matsuoka et al. (2006) provide intra-category regressions against elevation for categories 8-13, against slope for categories 3, 5, and 8-11, and against distance from hill for categories 8, 10, 13, 15, and 18-19.

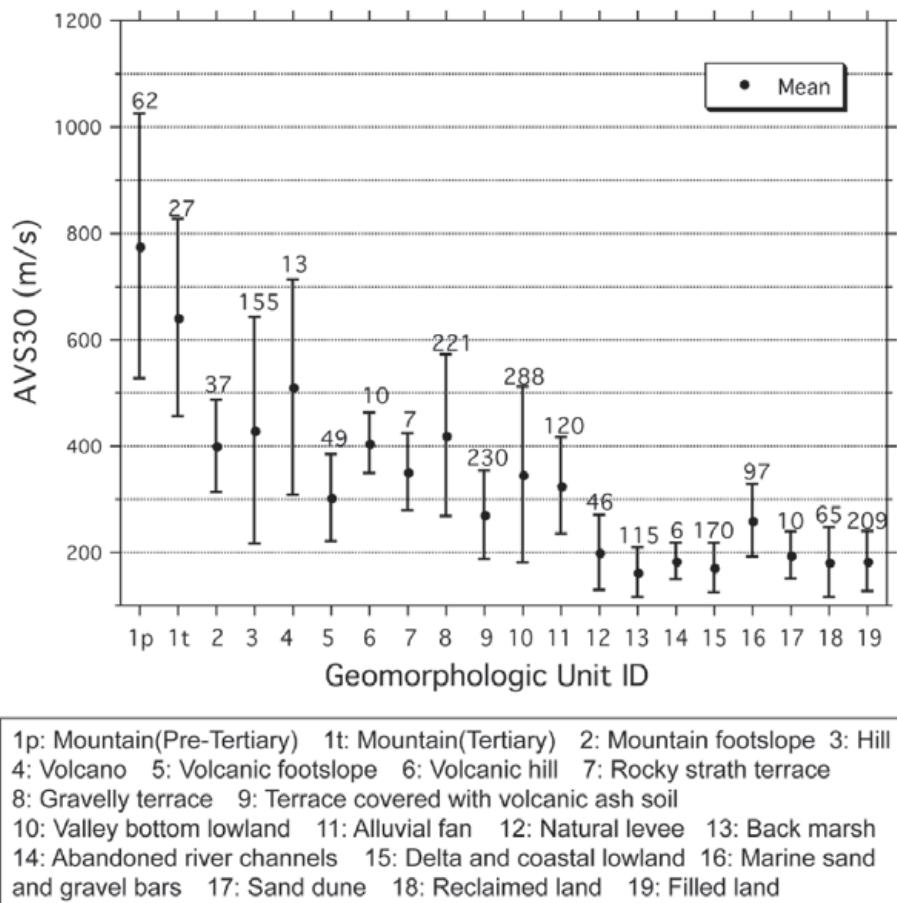


Figure 10 – Mean values of Vs30 (indicated as ‘AVS30’) for geomorphologic categories in JEGM. From Matsuoka et al. (2006)

This **coupled approach based on geology-morphometry** can probably be tested and adapted in Pyrenees in the future.

3. Site Condition Map

The site-conditions map is approached with EC8 site classification (EUROCODE 8 (2004)). EC8 classes are defined from several parameters: lithology, geometry, shear wave velocity and geotechnical data. The way of work is also constrained by available data at the Pyrenean scale (area of work).

3.1. Available database

3.1.1. Geology

A new geological map 1/400000 for Pyrenees has been edited in 2009 by BRGM-IGME. 2 main maps are available:

- basement map (Figure 11);
- quaternary map (Figure 12).

Data are quietly different by their description. 3 main entities are described for quaternary deposits on the “basement” map and 30 entities are described on the “quaternary” map. If descriptions are different, shape are also.

Other data are available and can furnish information but not for all Pyrenees :

- French geological map at 1:1 000 000 scale (brgm);
- Catalonian geological maps at 1:250 000 and 1:50 000 scale (igc)
- French geological maps at 1:50 000 (brgm).

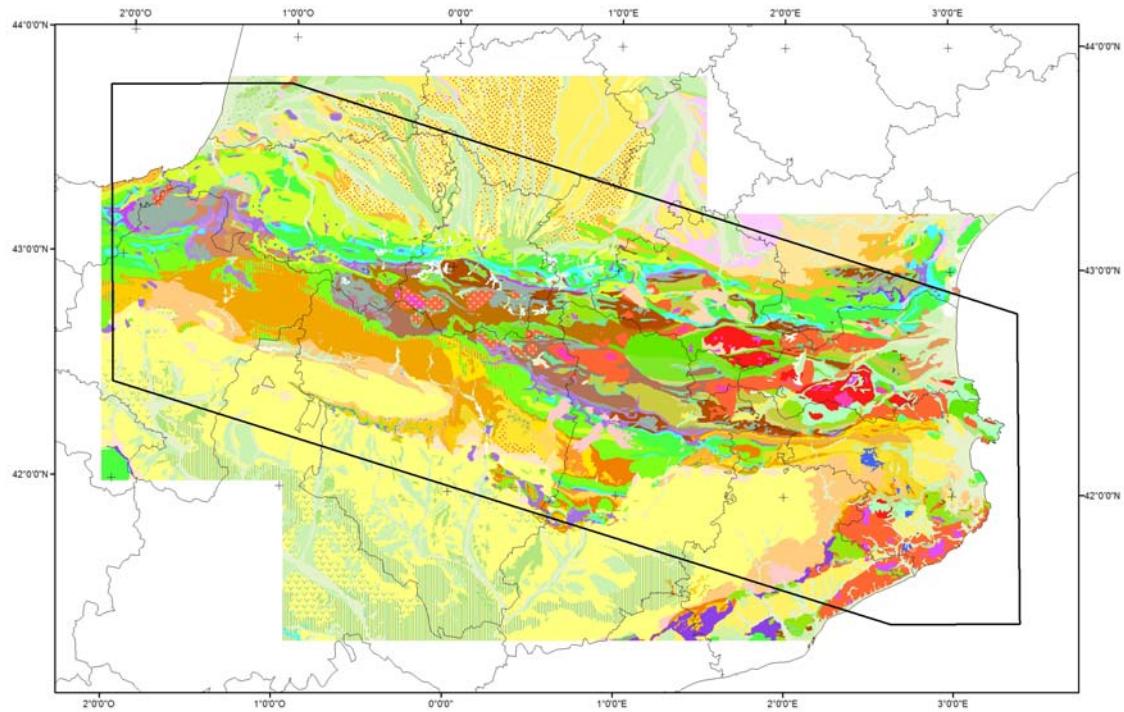


Figure 11 – Geological map of Pyrenees (1 :400 000), BRGM-IGME

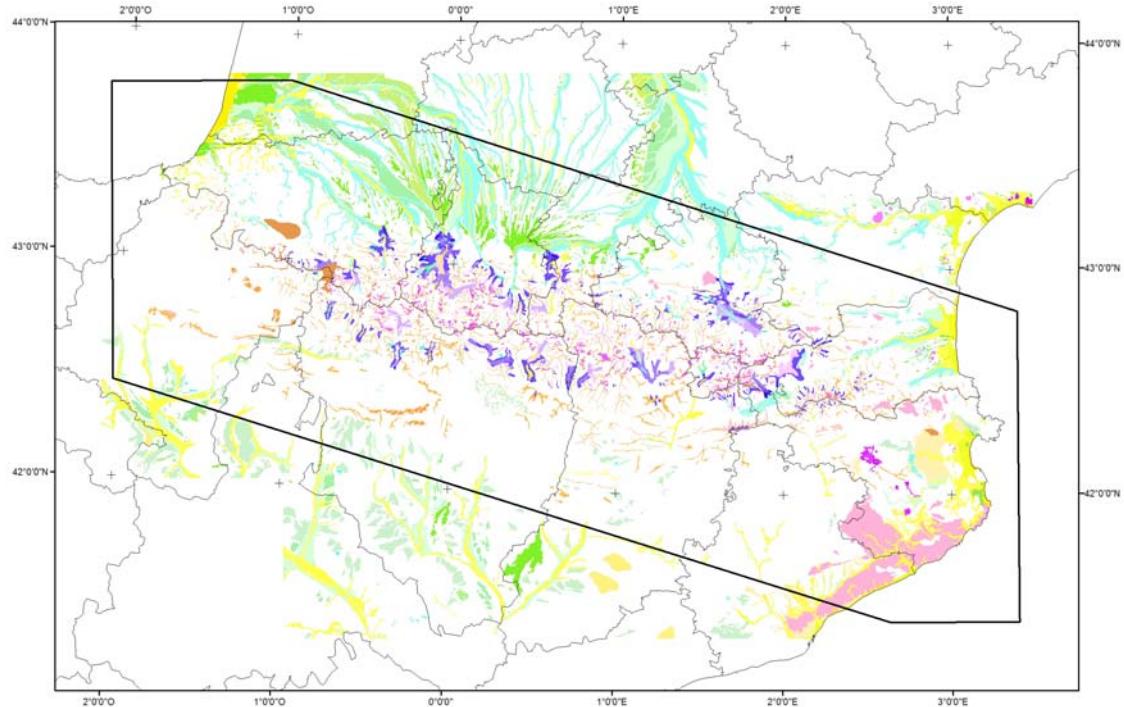


Figure 12 – Quaternary deposits map of Pyrenees (1 :400 000), BRGM-IGME

3.1.2. Geotechnical data

In France a recent study (Rouillé & al. 2010) tested an automatic method produce maps of site classes using an adaptation to the French context of the approach of Wald & Allen (2007, 2009). Two steps were undertaken: i) test of the correlation between Vs30 and a morphometric parameter coming from a Digital Elevation Model (DEM) for France for validation purposes; and ii) application of the Wald & Allen method to several case studies. The work was realized using several DEMs (ASTERGDEM, SRTM-3 and SRTM-30plus) and a database of shear-wave velocity profiles. The results show no correlation between Vs30 and the slope or the openness for sites in metropolitan France whichever DEM is used.

In this study a compilation of Vs30 measures from public reports is made. For Pyrenees, outside Lourdes microzonation, only some points in Pyrénées Orientales exist.

Boreholes databases are available from both side of the border:

- French BSS (<http://infoterre.brgm.fr/>): complete database with geological description and sometimes geotechnical information;
- borehole from Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM),(IGC, 2011)
- borehole from Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) and Agència Catalana de l'Aigua (ACA).(IGC, 2011)

More than these particular databases, a lot of local information is coming from bibliographic resources of different research groups and government agencies.

3.1.3. Seismic zonation

In the regional Pyrenees context some seismic microzonations have been processed for Lourdes (Bernardie et al., 2006) and for Cerdanya and Andorra in the context of ISARD Project (Colas et al., 2006; Macau et al., 2006a, 2006b). In SISPyr A4.2, local hazard has been studied in Val d'Aran, Bagnère de Luchon and Girona. Results of this task are used to validate the site condition map to use in ShakeMap.

3.2. *Lithological qualification*

The geomechanic SISPyr map was performed from two maps ("Geological map" and "Quaternary map"), made by BRGM and IGME, with shape format and a scale of 1:400.000. In the two maps has been determined the ground class (HR, SR, SS, VSS) and the thickness of each area defined.

The process to assign the class is divided in two parts:

- 1) define the lithological classification
- 2) give the thickness attributes & regional context in place.

Lithological classification is defined as:

- HARD ROCK (HR),
- SOFT ROCK (SR),
- ALTERED ROCK (SRa),
- SOFT SOIL (SS),
- VERY SOFT SOIL (VSS)

following the main lithology of each geological formation (from 82 lithotypes from 'Geological map' and 30 lithotypes from 'Quaternary map').

Initially, the ground was classified into these four classes depending on the velocity of shear waves (V_s), following EC8 values (see 3.3):

- HR: ground have mainly V_s upper than 800 m/s
- SR and SRa: ground have mainly V_s between 360 i 800 m/s
- SS: ground have mainly V_s between 180 i 360 m/s
- VSS: ground have mainly V_s lower than 180 m/s

After analysing the materials in the Sispyr area assigned to each geological unit, in general, a class of ground according to its genesis and age.

- Coastal, deltaic and swamp Holocene deposits: VSS
- Glacial, fluvial, alluvial and colluvial quaternary deposits: SS
- Neogene deposits and altered granite: SR
- Paleozoic, Mesozoic and Paleogene materials and volcanic rocks: HR

1:400 000 MAPS				
TYPE	AGE & CONTEXTE	LITHOLOGIE	GEOL	QUAT
VSS	QUATERNAIRE	VASE LITTORALES (VASE)	x	x
SS	QUATERNAIRE	MORAINES (BLOCS) CORDONS LITTORAUX (SABLE) ALLUVIONS (SABLE, GRAVIER) COLLUVIONS (ARGILE, BLOCS, LOESS)	x x x x	x x x x
Sra	-	ARENE		x
SR	TERTIAIRE NORD-PYRENEEN	ARGILE MARNE POUDINGUE SABLE	x x x x	
	TERTIAIRE SUD-PYRENEEN	MARNE		x
HR	QUATERNAIRE	BASALTE	x	
	TERTIAIRE NORD-PYRENEEN	CALCAIRE CONGLOMERAT	x x	
	TERTIAIRE SUD-PYRENEEN	CALCAIRE CONGLOMERAT GYPSE MARNE TURBIDITE	x x x x x	
	SECONDAIRE	CALCAIRE FLYSH GRES ROCHE BASIQUE	x x x x	
	PRIMAIRE	BASALTE CALCAIRE GABBRO GNEISS GRANITE GRES MIGMATITE QUARTZITE RHYOLITE SCHISTE	x x x x x x x x x x	

Figure 13 – Lithological classification

Intersection by GIS treatment of “geological” & “quaternary” map provides soil column all over the study area as described in Figure 14:

		QUATERNARY DEPOSITS				
		HR (volcanics)	SR (altered HR)	SS	VSS	x (no deposit)
GEOLOGICAL MAP	HR	x/HR	Sra/HR	SS/HR	VSS/HR	x/HR
	SR	x/HR	Sra/HR	SS/SR	VSS/SR	x/SR
	SS	x/HR	Sra/HR	SS/?	VSS/?	SS/?
	VSS	x/HR	Sra/HR	SS/?	VSS/?	VSS/?

Figure 14 – GIS soil columns description

The result is a “2,5D” geological classification map which represents a zoning of soil column all over Pyrenees (Figure 15). The map do not includes specific geological context as deep tertiary basins known across the study zone.

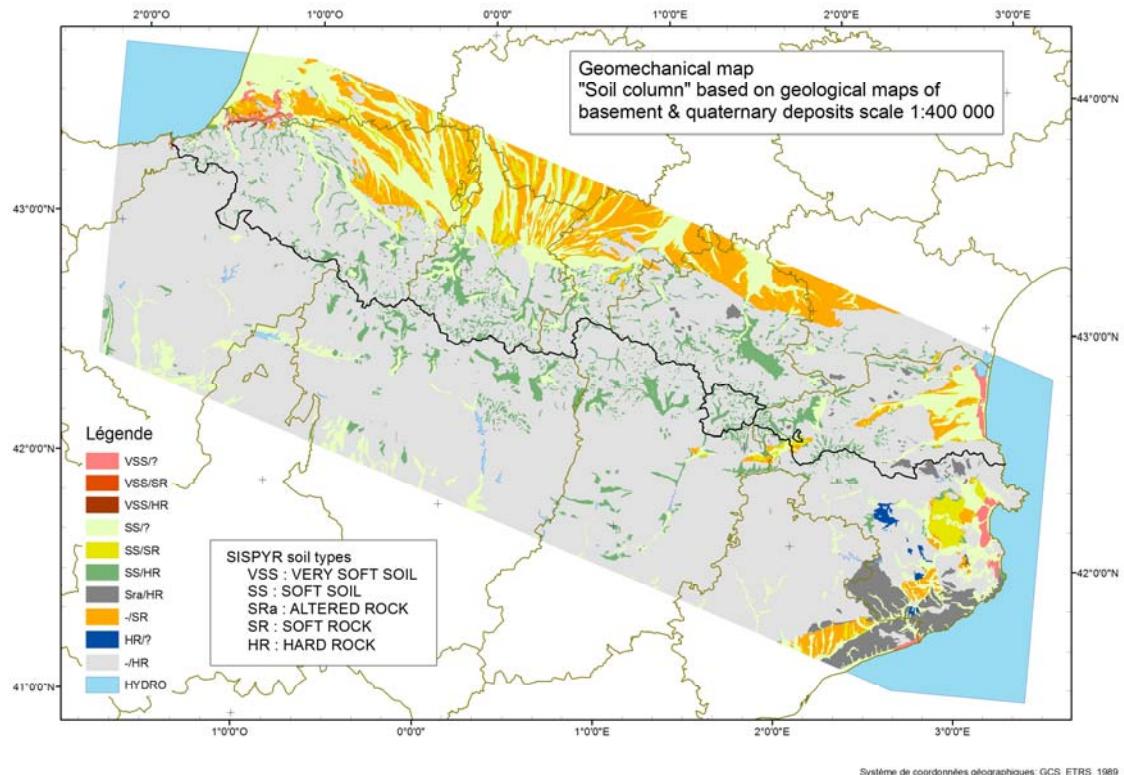


Figure 15 – Geological classification map “2,5 D”

3.3. *Ground types*

EC8 soils classes are defined by :

- geomecanical characteristics ($V_{s,30}$, N_{SPT} or Cu for example undrained cohesion).
- geometry of the different layers of soil.

EUROCODE 8 (2004) provides recommendation on soil class definition :

- ground types A, B, C, D, and E, described by the stratigraphic profiles and parameters given in illustration may be used to account for the influence of local ground conditions on the seismic action. This may also be done by additionally taking into account the influence of deep geology on the seismic action ;
- the site should be classified according to the value of the average shear wave velocity, $v_{s,30}$, if this is available. Otherwise the value of N_{SPT} should be used ;
- the average shear wave velocity $v_{s,30}$ should be computed in accordance with the following expression:

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$$

where h_i and v_i denote the thickness (in meters) and shear-wave velocity (at a shear strain level of 10^{-5} or less) of the i -th formation or layer, in a total of N , existing in the top 30 m.

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	—	—
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	< 100 (indicative)	—	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

Figure 16 – ground types from EC8 rules

Knowledge of $V_{s,30}$ in Pyrenees are very punctual, and geotechnical SPT tests are not used in France for example. So determination of EC8 Class is based on empirical approaches derived from the soil description:

Ground type (Boore et al., 1993)	$V_{s,30}$ (m/s)	Subsoil class in EC8 (CEN, 2001)	$V_{s,30}$ (m/s)
Rock	> 750	A	> 800
Stiff soil	360–750	B	360–800
Soft soil	180–360	C	180–360
Very soft soil	< 180	D	< 180

Rey & al.

Ground type	Age	$V_{s,30}$ (m/s)	EC8 class
Carbonate platform successions	Mesozoic	>800	A
Sediments, soft rocks and Flysh deposit	Tertiary	360–800	B
Volcanic rocks	Tertiary–Quaternary	360–1000	B
Alluvium and gravel deposits	Quaternary	180–360	C
Very soft soils	Quaternary	<180	D

Convertito & al.

Class	Description
A (rock) $V_s > 800$ m/s	Marine clay (Lower Pleistocene and Pliocene) and older rock (Paleogenetic, Neogenic, Mesozoic and Paleozoic rocks). All of the volcanic rock and deposits (the original legend has not enough detail to allow finer distinction)
B (stiff soil) $400 < V_s < 800$ m/s	Colluvial, alluvial, lacustrine, beach, fluvial terraces, glacial deposits, and clay (Middle-Upper Pleistocene.) Sand and loose conglomerate (Pleistocene and Pliocene). Travertine (Pleistocene and Holocene)
C (soft soil) $V_s < 400$ m/s	Colluvial, alluvial, lacustrine, beach, fluvial terraces deposits (Holocene)

Geological-Class Map (GNDT - Italy)

Figure 17 – examples ground types from EC8 rules

Main approach in Pyrenees is based on:

- stratigraphic & geomechanical classification;
- thickness qualification in order to include E-EC8 class on final map.

It is decided to adapt the Convertito method:

- Primary and secondary levels: A-EC8 (HR)
- Altered primary levels: B-EC8 (SRa/HR)
- Tertiary levels: B-EC8 (SR)
- Quaternary rocks: A-EC8 (HR) i.e. volcanic rocks locally differenced as A'
- Quaternary deposits: C-EC8 (SS) or D-EC8 (VSS)

New classes (B' and F) are defined in the frame of the SISPYR program in order to take in account the deep geology on seismic action as known in Cerdanya region for example (Miocene deep basin) (Macau et al., 2007). The definition of EC8, SISPYR modified classes are shown in Figure 18.:

Class	Surface	Thickn.	/	Deep	Thickn.	V_{s30}	Comments
A	x	(-)	/	HR	(-)	> 800 m/s	
	SR	(0-5 m)	/	HR	(-)		
	SRa	(0-5 m)	/	HR	(-)		
	SS	(0-5 m)	/	HR	(-)		
	VSS	(0-5 m)	/	HR	(-)		
B	x	(-)	/	SR	(5-100m)	360 - 800 m/s	
	SRa	(5-100 m)	/	HR	(-)		
	SS	(0-20 m)	/	SR	(20-100m)		
	VSS	(0-20 m)	/	SR	(20-100m)		
B'	x	(-)	/	SR	(>100m)	360 - 800 m/s	
	SRa	(>100 m)	/	HR	(-)		
	SS	(0-20 m)	/	SR	(>100m)		
	SS	(20-100 m)	/	SR	(>100m)		C in some cases
	VSS	(0-20 m)	/	SR	(>100m)		
	VSS	(20-100 m)	/	SR	(>100m)		D in some cases
C	SS	(20-100 m)	/	x	(-)	180-360 m/s	B' in some cases
D	VSS	(20-100 m)	/	x	(-)	< 180 m/s	B' in some cases
E	SS	(5-20 m)	/	HR	(-)	variable	
	VSS	(5-20 m)	/	HR	(-)		
F	SS	(>100 m)	/	x	(-)	180-360 m/s	B' in some cases
	VSS	(>100 m)	/	x	(-)		B' in some cases

Figure 18 - Geomechanical classification SISPyr vs soil column
(soil type / ground depth or thickness)

3.4. Characterization of the thickness of deposits

Different approaches are used from both sides of the border:

- Deterministic approach based on expert and bibliography information in Spain (articles and boreholes databases):
 - o To determine the thickness of each polygon has been used bibliographic resources of different research groups and government agencies, supplemented with information of borehole from Ministerio de Medio

Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) and Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

- Finally, the Geomechanical classification SISPyr (A, B, B', C, D, E, F) has been assigned to each polygon of both maps, considering the type of ground in surface and the vertical stratigraphic column (Figure 19).

Ground 1	Thickness ground 1	Ground 2	Thickness ground 2	Ground 3	Thickness ground 3	Ground 4	Classif. SISPyr
HR	-	-	-	-	-	-	A
HR'	-	-	-	-	-	-	A'
SR	0-5	HR	-	-	-	-	A
	5-100	HR	-	-	-	-	B
	>100	HR	-	-	-	-	B'
SS	0-5	HR	-	-	-	-	A
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
	5-20	HR	-	-	-	-	E
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
	20-100	-	-	-	-	-	C
	>100	-	-	-	-	-	F
VSS	0-5	HR	-	-	-	-	A
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
		SS	HR	-	-	-	E
			5-20	SS	5-100	A	B
					>100	A	B'
		20-100	-		-	-	C
		>100	-		-	-	F
	5-20	HR	-	-	-	-	E
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
		SS	20-100	-	-	-	C
			>100	-	-	-	F
		20-100	-	-	-	-	D
		>100	-	-	-	-	F

Figure 19 – Geomechanical classification SISPyr by type of grounds and its thickness

- Details of all assignments are provided by area in appendix 1 (Synthesis of Quaternary deposits and Neogene basins in the Iberian sector, GEOCAT,2011)
- Global GIS approach in France based on main geological domains and bibliography information (boreholes databases and geological structures).

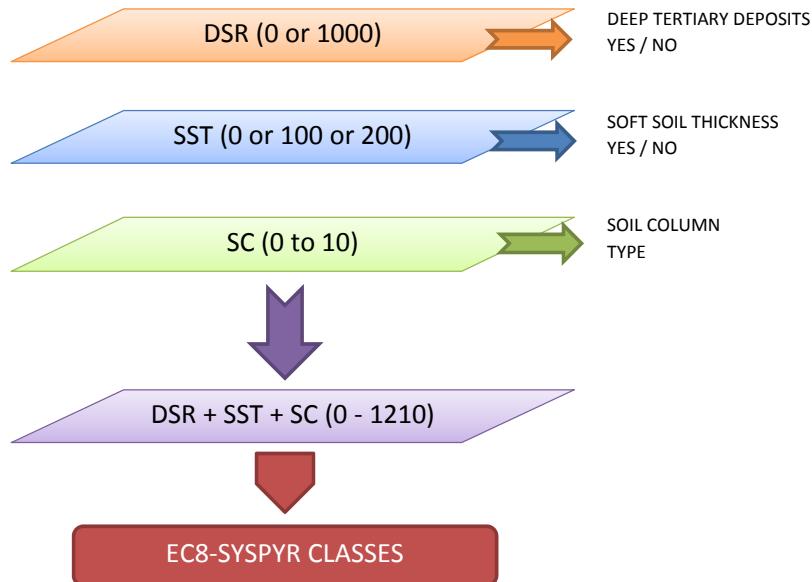


Figure 20 – Geomechanical classification SISPyr by type geological domains

In France 5258 boreholes are collected and data organized in order to approach main geometry. Each borehole is described by its ground type and knowledge of thickness of each layer permit to allow EC8-SISPYR class to major part of boreholes (appendix 2).

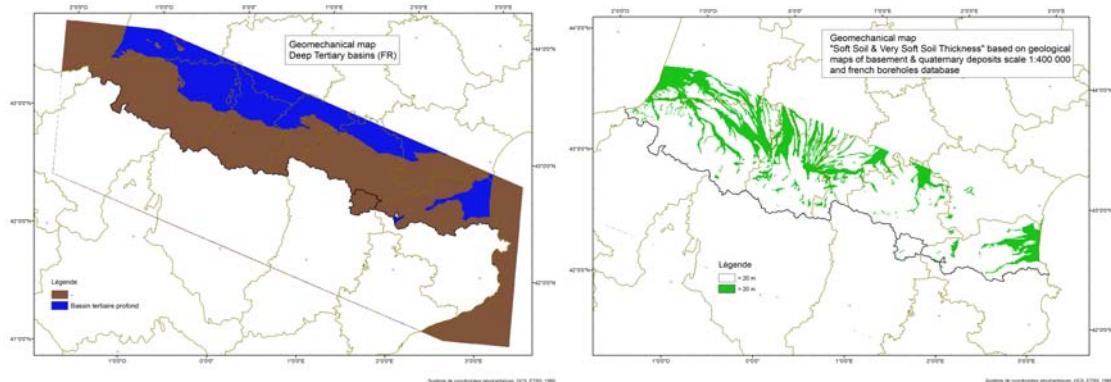
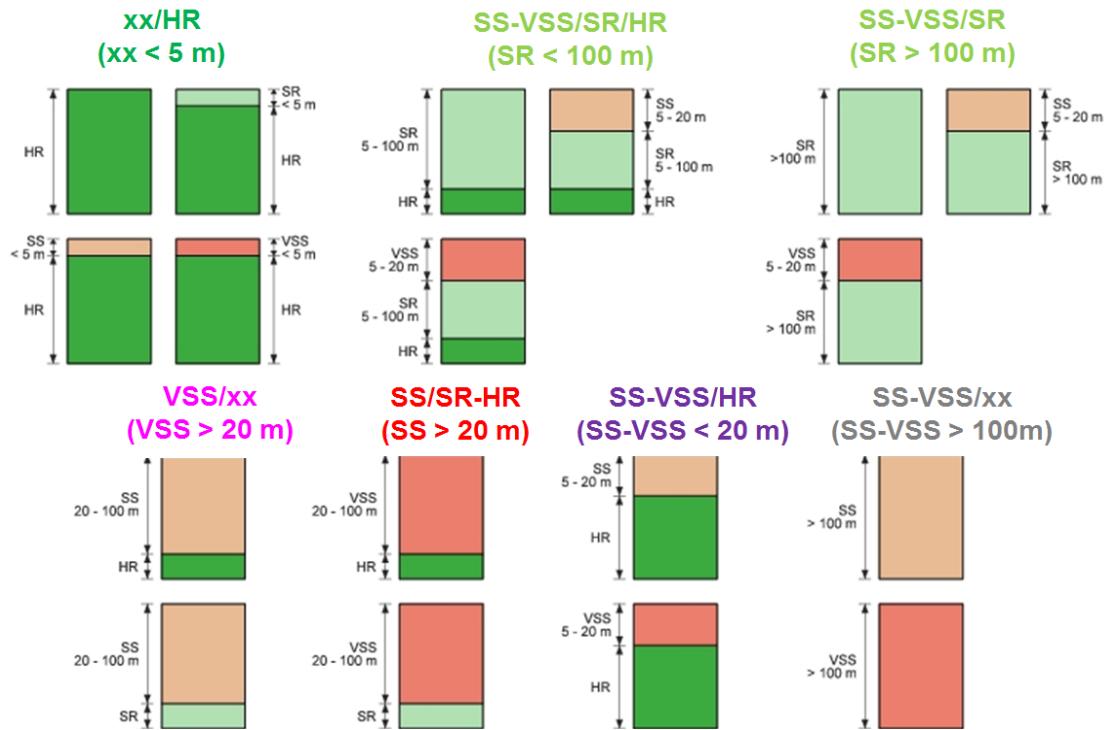


Figure 21 – Deep tertiary deposits & Soft Soil Thickness classes

3.5. 2,5 D model for Pyrenees – Homogeneous soil columns

Aggregation of French and Spanish data provides a unique definition of “terrain type column” all over Pyrenees. This method guarantees homogeneous results from both sides of border.

**Figure 22 – Homogeneous soil columns defined**

3.6. EC8-SISPYR Macrozonation map

Translation of soil column to EC8 according to Figure 18 and Figure 19 allows a Pyrenean EC8 modified classification including 2 new classes (B' and F – not strictly in the SISPyr study area).

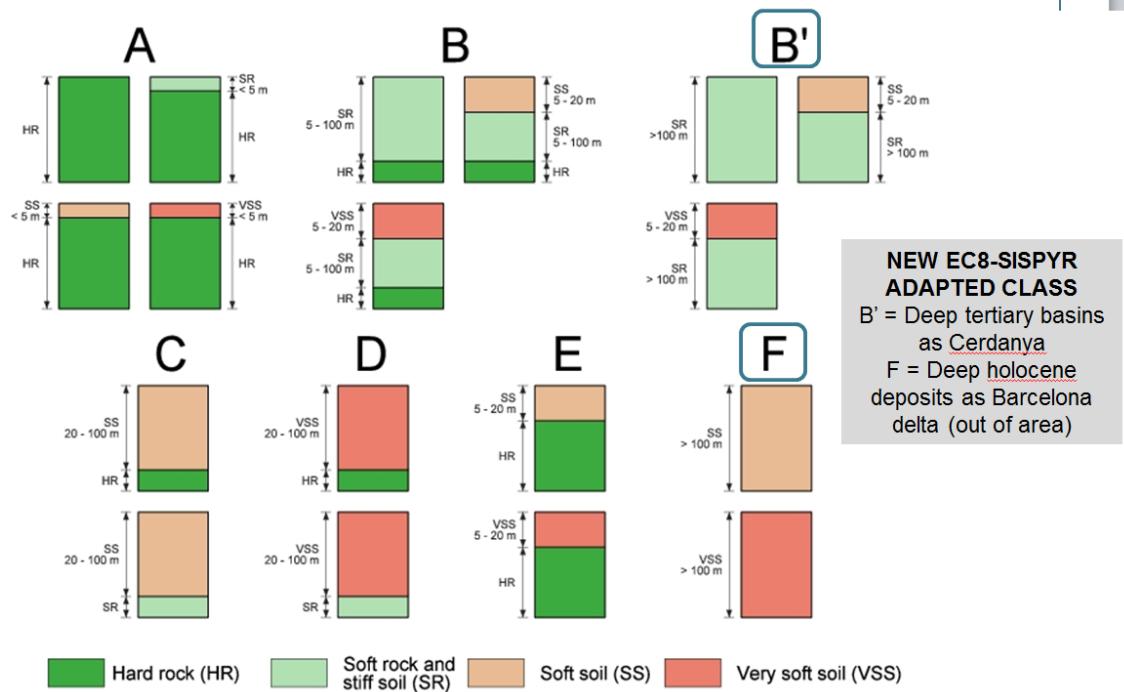


Figure 23 – EC8-SISPYR modified classes

The final result based on classes of Figure 23 is harmonised and coherence of results is defined around the border. Both methods give same kind of results for final zonation. Site condition map is provided as a 500 m x 500 m grid for all the SISPYR area:

- B' = Deep tertiary basins as Cerdanya
- F = Deep Holocene deposits (out of area)

Other classes are directly the EC8 class described on Figure 16. The final EC8 map is presented on **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** :

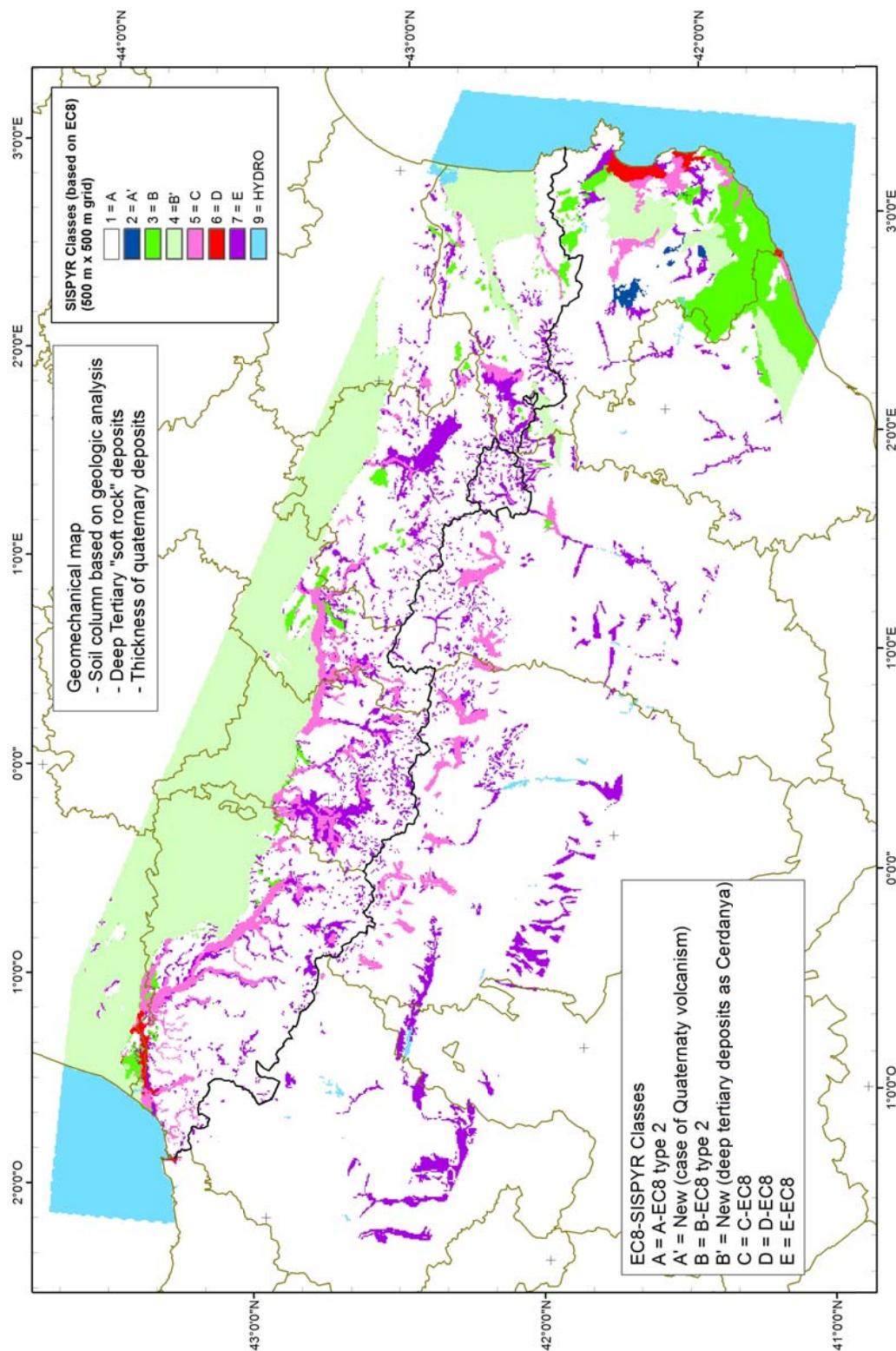


Figure 24 – SISPyr site condition map

3.7. Back analysis

Available data for back analysis are both spatial and punctual and described as:

Spatial:

- existing local seismic microzonation in Pyrenees:
 - o Lourdes
 - o Bagnères-de Bigorre
 - o Cerdanya and Andorra
 - o Val Aran-Luchonnais
 - o Girona
- seismic mesozonation of Catalonia at scale 1:100 000 (Goula et al., 2012) compared for Girona and Val d'Aran in Spain.

Punctual: EC8 class definition from

- stations from NRT seismic network
- boreholes (Fr)

3.7.1. Existing seismic micro/meso/macro zonation

Existing works result from seismic microzonation done at (very) smaller scale (1:50 000 or less) than the Pyrenean macrozonation (1:500 000).

Lourdes seismic microzonation

In France, seismic microzonation was performed in Lourdes city (Bernardie & al. 2006). The comparison is done by GIS treatments using overlaying methods. EC8 microzonation and EC8 SISPyr macrozonation are rasterized to some 50 m mesh grids (micro resolution) and to 500 m grids (macro resolution). The main objective is to compare cell to cell the results of zonation produced from different scales and from radically different methods.

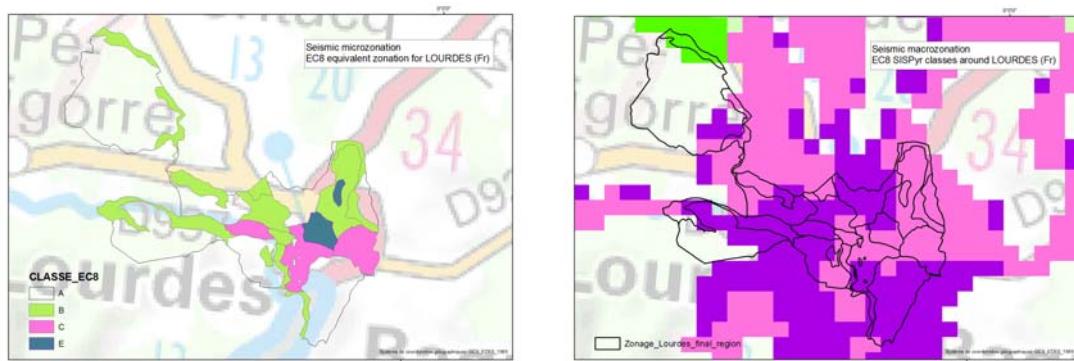


Figure 25 – Lourdes micro/macro seismic maps

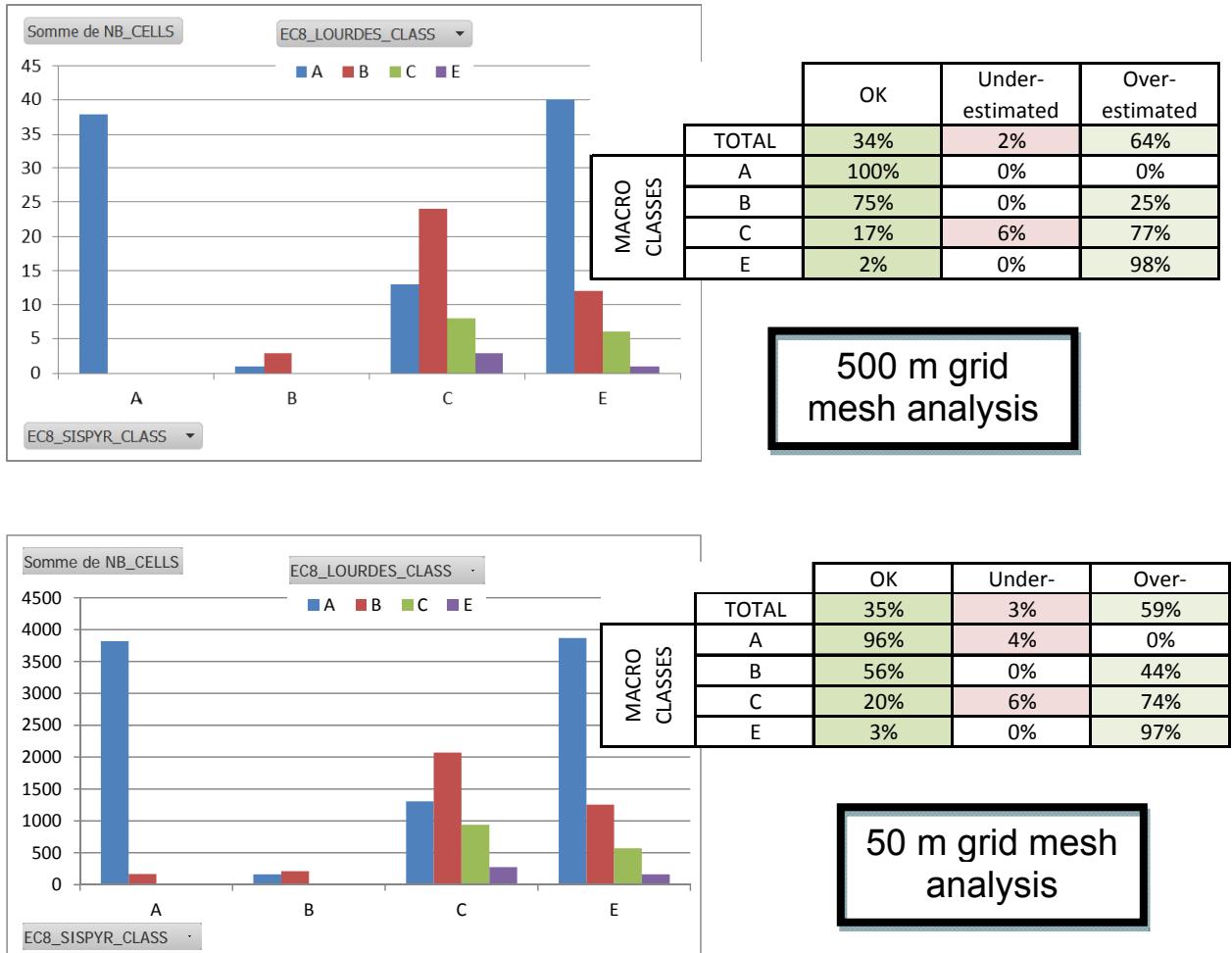


Figure 26 – Lourdes micro/macro seismic zonations comparison

For Lourdes, the results are not very good with only 35% classified in the same way for both zoning cells. But it is important to notice that 97% of classified surfaces have an equal or detrimental ranking through the Pyrenees (large scale) than zoning via the specific zonation (small scale). The explanation comes from two points:

- glacial deposits, strongly represented in Lourdes, are Class B micro-zoning and class C according to the Pyrenean zoning. Experience shows that this type of deposit is highly heterogeneous from one area to another (for example, what happens on the Luchonnais or glacial deposits are classified as A, B, C or E depending on the area) and therefore hardly classifiable in a massive scale;
- the area considered to be the rock in the seismic micro-zoning is classified as class E according to the Pyrenean zoning because of the larger representation of quaternary deposits induced by large scale.

Luchonnais seismic microzonation

The same approach is built for Luchonnais area. In this case, the results are similar, with 70% of cells classified in the same way by the two scales. Neither zonation is more detrimental than the other on average (17% of cases for the Pyrenean zoning against 13% of cases for the specific zoning). As for Lourdes, it should be noted that the main differences between the two zoning include:

- the low area superficial deposits (colluvial slope, coat of impaired mountain, alluvial fans, etc ...) are classified as Class E in the specific zoning and do not appear in the zoning across the massif because of the scale of work (13% of cases);
- the glacial deposits as described in Lourdes on both valleys Garin and Cierp-Gaud / Boutx (approximately 9% of cases) for the same reason explained above.

Cerdanya seismic microzonation (ISARD EU Project)

Work is also done for the Cerdanya region in eastern Pyrenees. In this case, the results are quite good as Luchonnais, with 63% of cells classified in the same way by the two scales. In the same way, the macro-approach provides a more detrimental zonation in the majority than the local one (27% for all classes and 94% for C or E classes).

The main difference is related to the Capcir glacial deposits characterized as B class because of their stiffness measured at 1:50 000 scale regarding C for Pyrenean zonation (same “default” than other testing areas).

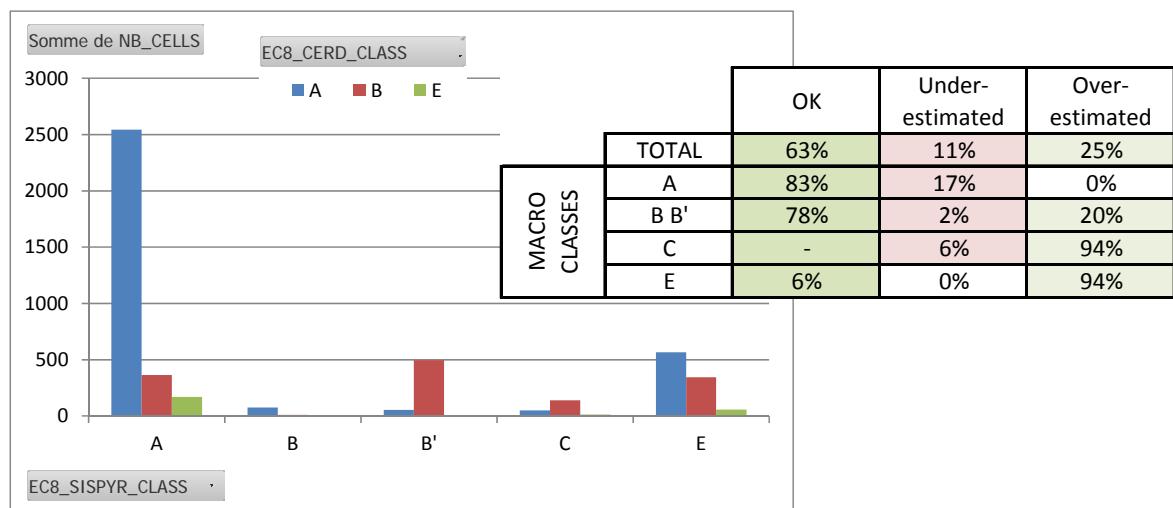


Figure 27 – Cerdanya micro/macro seismic zonation comparison

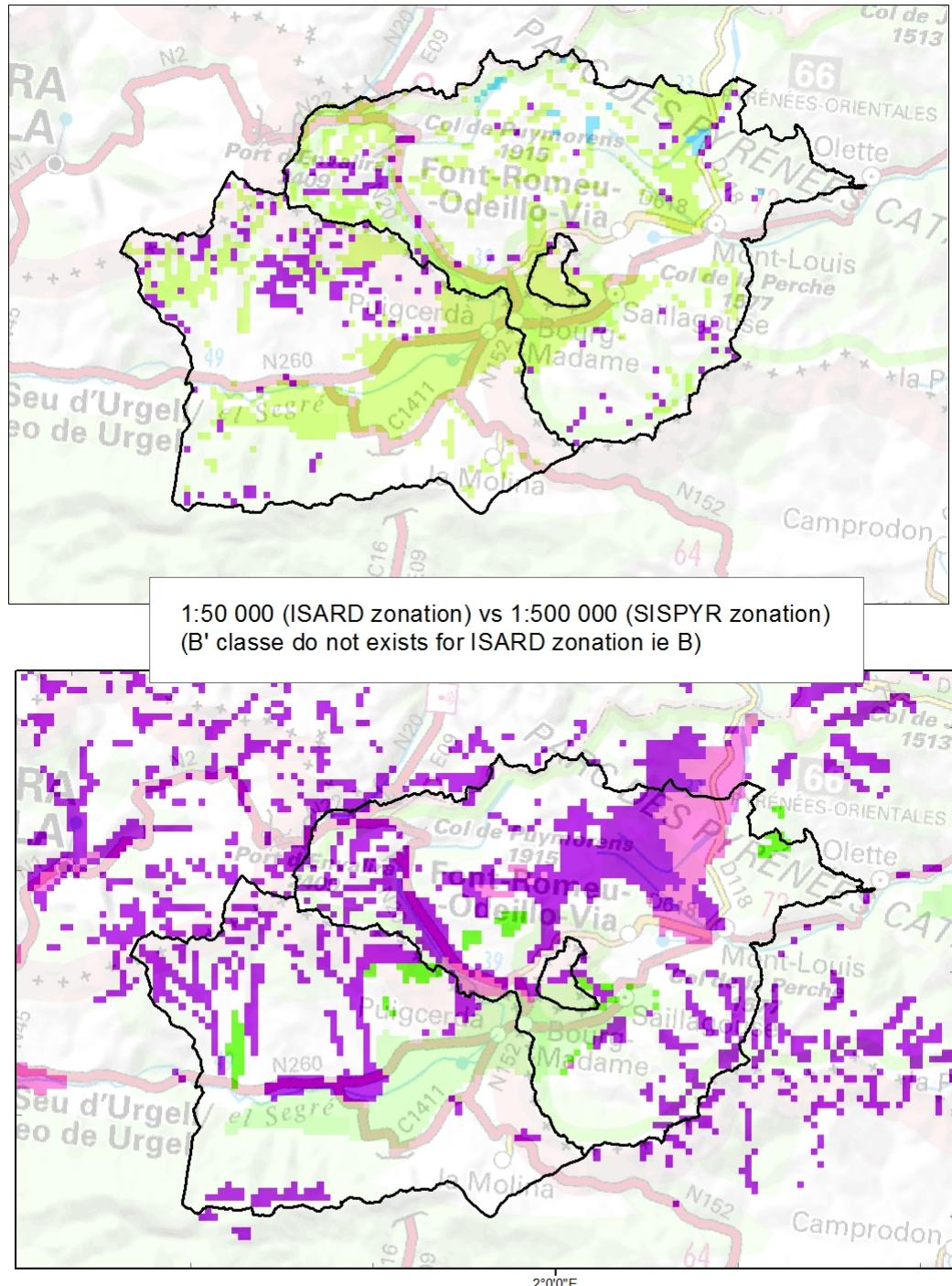
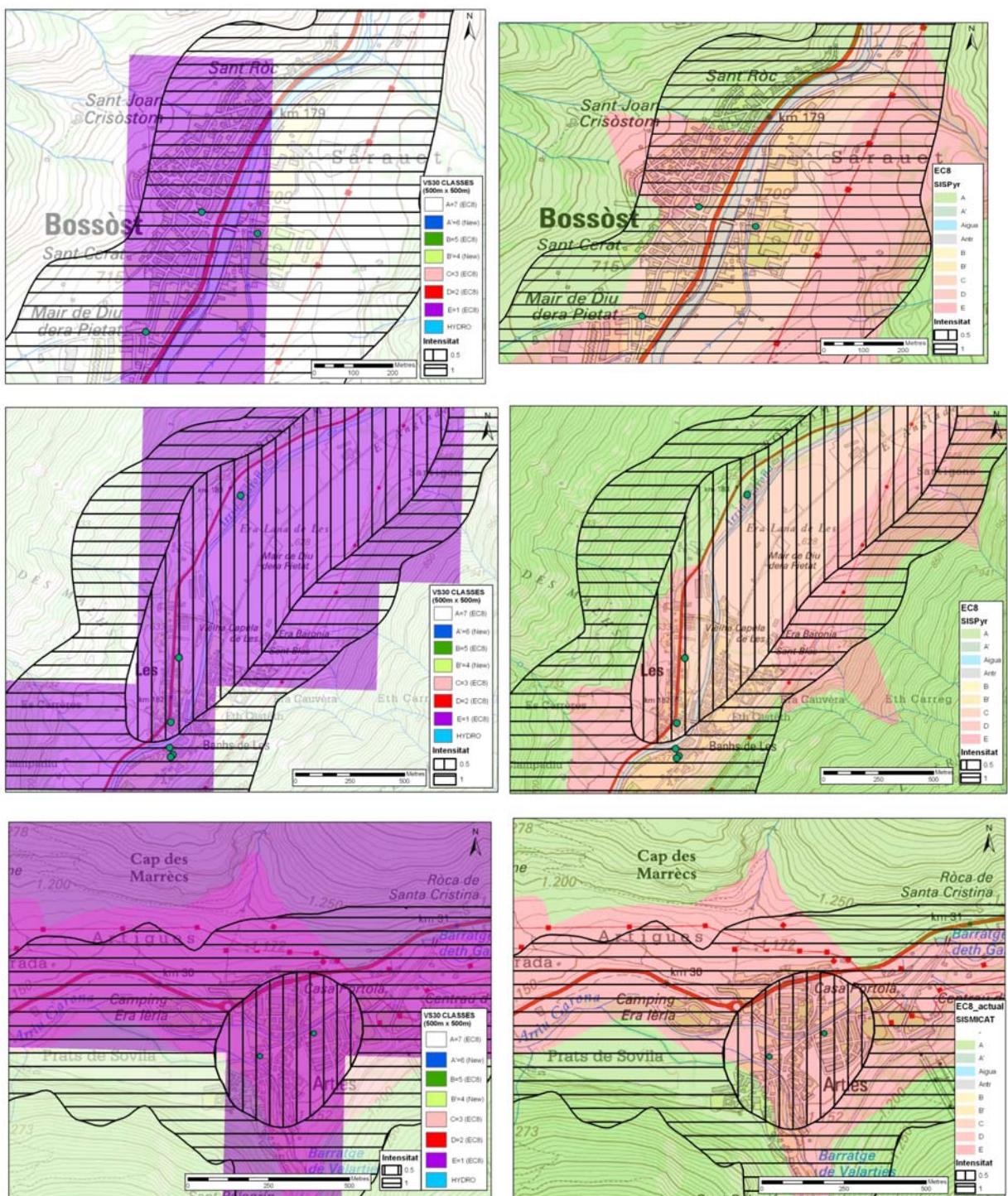


Figure 28 – Cerdanya micro/macro seismic zonation maps

Val d'Aran seismic microzonation

Micro and macro zonations are presented on Figure 29. Results are quite good in Les, Bossost and Arties where E SISPyr class contains more or less (Bossost) the E classes deduced from microzonation. Same observation can be provided from these comparisons than the other ones in France: EC8 SISPyr classes are more critical than 1:50 000 ones.



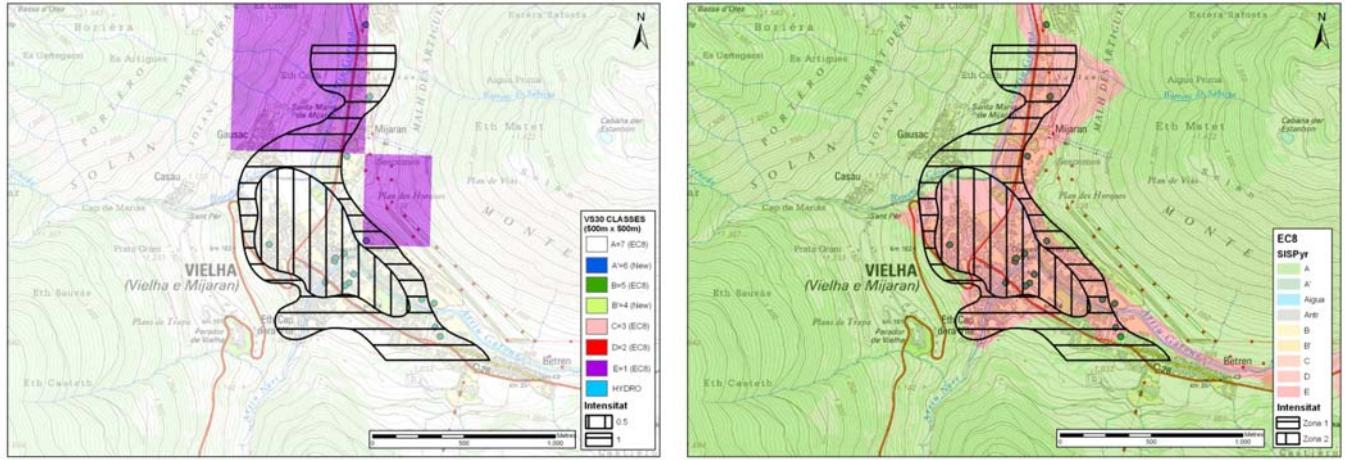


Figure 29 – Val d'Aran micro/macro seismic zonation maps

For Vielha results are not so good. If the identification of class is good (E class), contours do not fit between the two scales analysis. The only reason is the way of conversion “vector to raster” of the geological 1:400 000 interpreted map (soil column map calculated and presented Figure 15). The Figure 30 shows this interpretation where part of “Soft soil deposits on Hard Rock” are truncated with the rasterization.

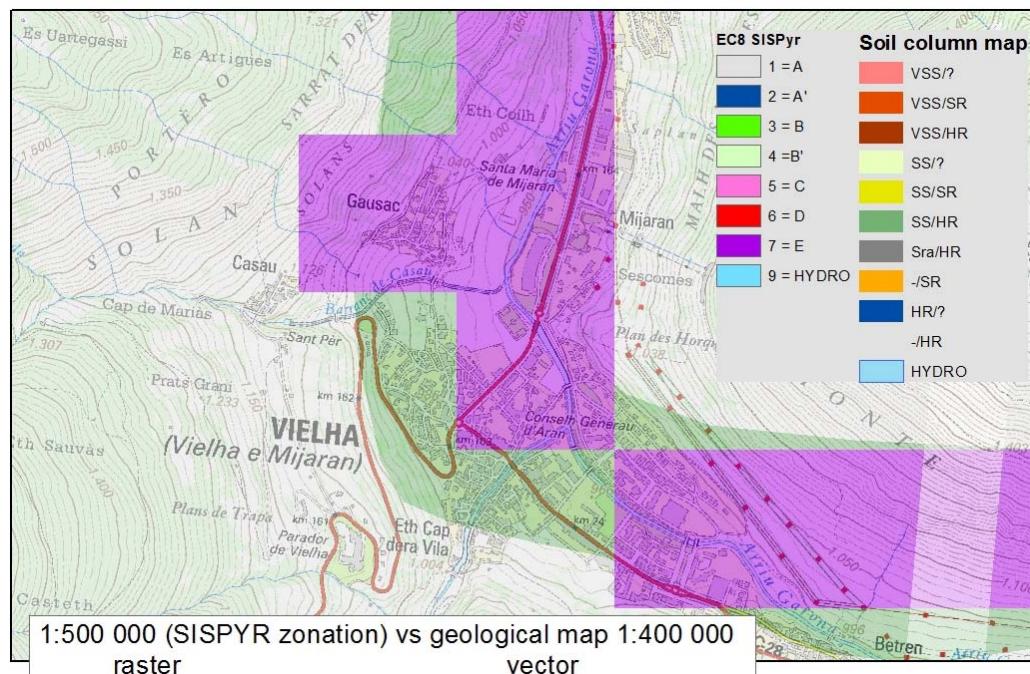


Figure 30 – Vielha seismic zonation map

Girona seismic micro/mezozonation

Works done in Girona (Figure 31) reflects perfectly the evolution of precision regarding the complexity of the analysis. As the SISMICAT zonation (basic and large scale analysis) shows only one seismological zone for soil response (medium amplification), microzonation, which includes geophysical measurements and numerical simulation, shows 3 different zones (from null to medium-high amplification).

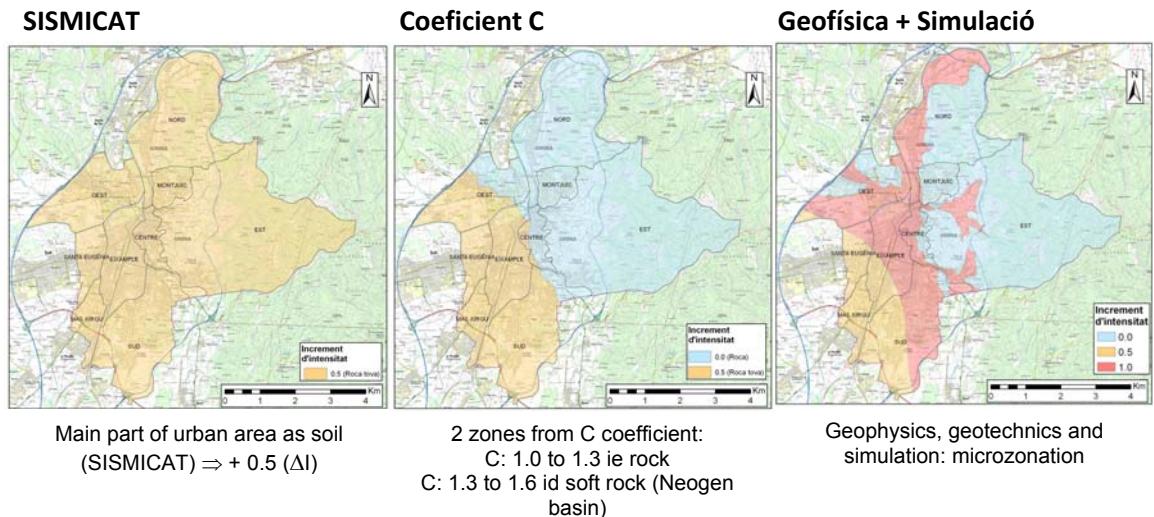


Figure 31 – Seismic zonation maps for Girona

In the same way, comparison between seismic mezozonation and microzonation shows some main differences especially regarding the B' class on the SW part of city where soft deposits may induce E class.

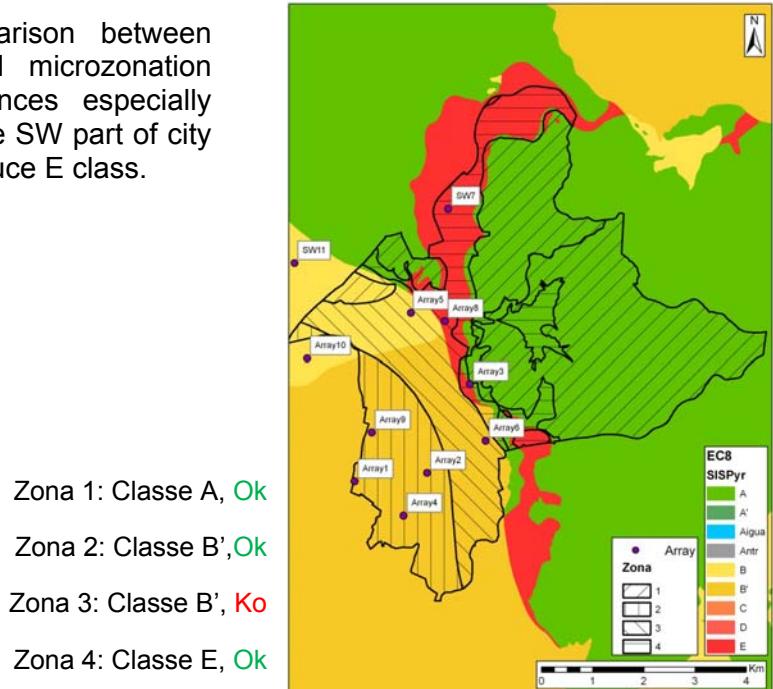


Figure 32 – Seismic mesozonation of Catalunya (EC8 Sispyr) vs microzonation (Girona)

Finally, macrozonation partially fits with detailed analyses: in fact, less than 500 m large deposits on rock can be rubbed by the process used for all Pyrenees. In this particular case (more or less the same explained in Vielha), macrozonation is not sufficiently critical regarding potential site effects. On the other way, extend systematically small surfaces to large ones could be very pessimistic when results will be used for damage assessment. The choice of one or other way of mapping can always be discussed regarding the means involved. In every case where human and material issues are involved (i.e. Girona area), detailed analysis will be always preferred.

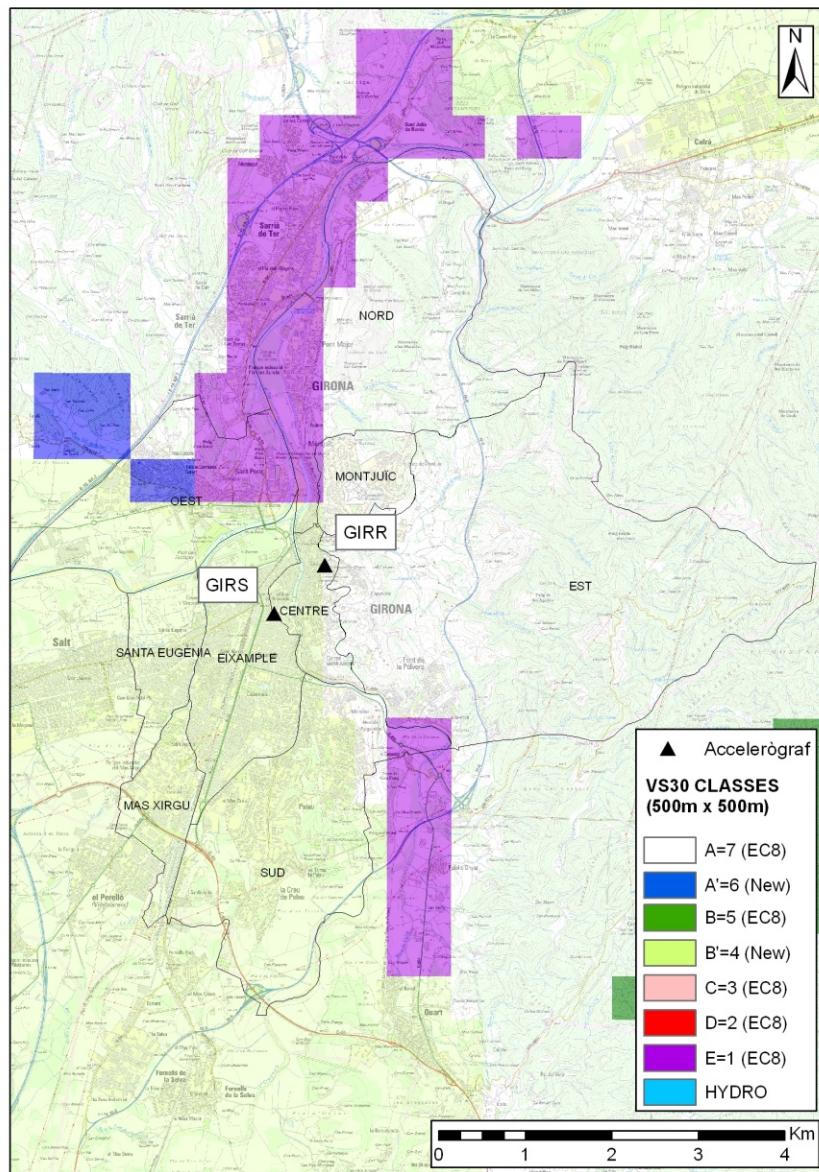


Figure 33 – Seismic macrozonation of Girona

3.7.2. SISPYR seismic network site condition

EC8 classification is established for 34 stations of the Sispyr seismic network. These EC8 class are compared by GIS basic analysis to the EC8 modified class obtained from seismic macrozonation (Figure 34). Systematic comparison shows:

- 74 % (25/34) with agreement (main for A class)
- 26% (9/34) with conflict:
 - o 14% (5/34) attributed to grid interpolation
 - o 9% (3/34) attributed to low quality of EC8 determination
 - o 3% (1/34) attributed to geological/interpreted mapping (glacial deposits)

Finally, integrating scale influence, 88% of punctual analysis can be considered as acceptable. For the low quality EC8 determination on some sites, in France the RAP (Réseau Accélérométrique Permanent) is on the way to define finely the EC8 site characterization.

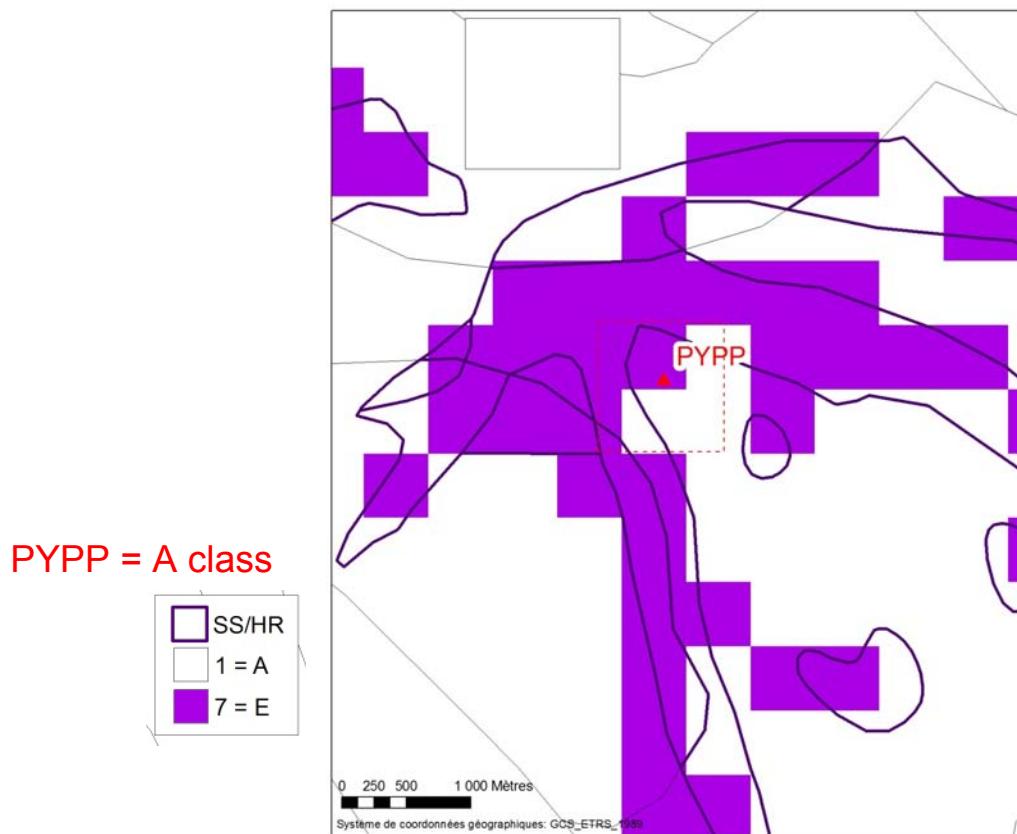


Figure 34 – GIS comparison example from SISPYR site condition map vs station site condition description

Nb of stations EC8-map	EC8-station					
	A	A'	A or B	B	B'	Sum
A	22			1		23
A'		1				1
B			1	1		2
B'						0
C	2					2
E	5			1		6

Figure 35 – Global comparison of SISPYR site condition map vs station site condition description

4. Amplifications factor determination

Assignation of a response spectrum and ΔI is done for each class of site condition map. However for Shake Map computation amplification factors are necessary for each class:

- Fa -> Amplification factors for PGA and short period range- (0.1-0.5s)
- Fv -> Amplification factors for PGV and mid-period range - (0.4-2.0s)

This chapter is divided in two subsections:

- Response spectra vs site condition map
- amplification factors determination.

4.1. Response spectra and ΔI

Based on EC-8 proposals, past geophysical studies and French code (National annex of EC-8) a “first approach” spectrum was assigned to each class. Figure 36 shows the general shape of EC-8 proposed spectra:

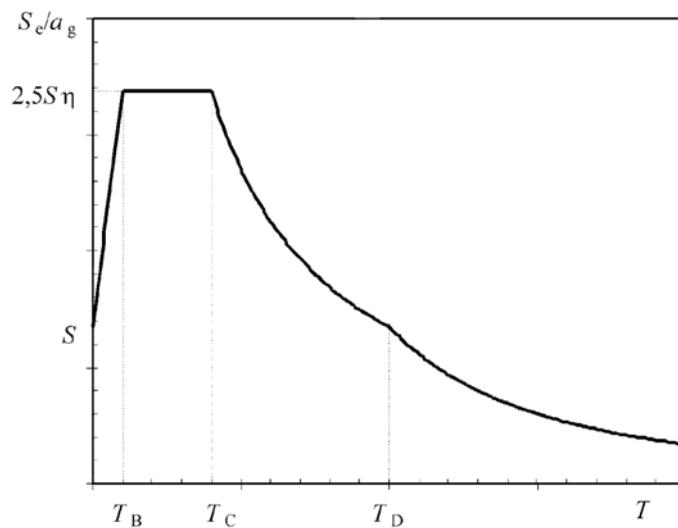


Figure 36 - General shape of proposed spectra (EN 1998-1) elastic response spectrum.

EC-8 proposes 2 kinds of spectra for two different earthquakes:

- type 1 for magnitude $M > 5.5$ (Figure 37);
- type 2 for magnitude $M < 5.5$ (Figure 38).

Apart the code let some parameters to be defined by each country (national annexes). French national code was done according to EC-8, using the same ground types and adapting parameters to the country geology (Bard, 2004 - Figure 39).

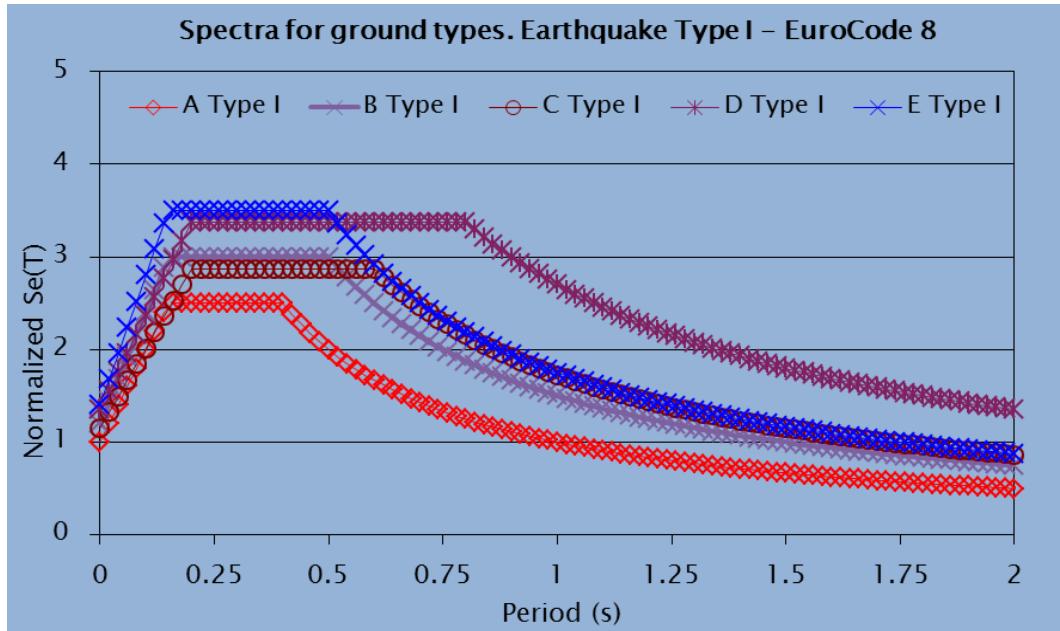


Figure 37 - EC-8 normalized elastic response spectrum for each ground type for earthquake type I.

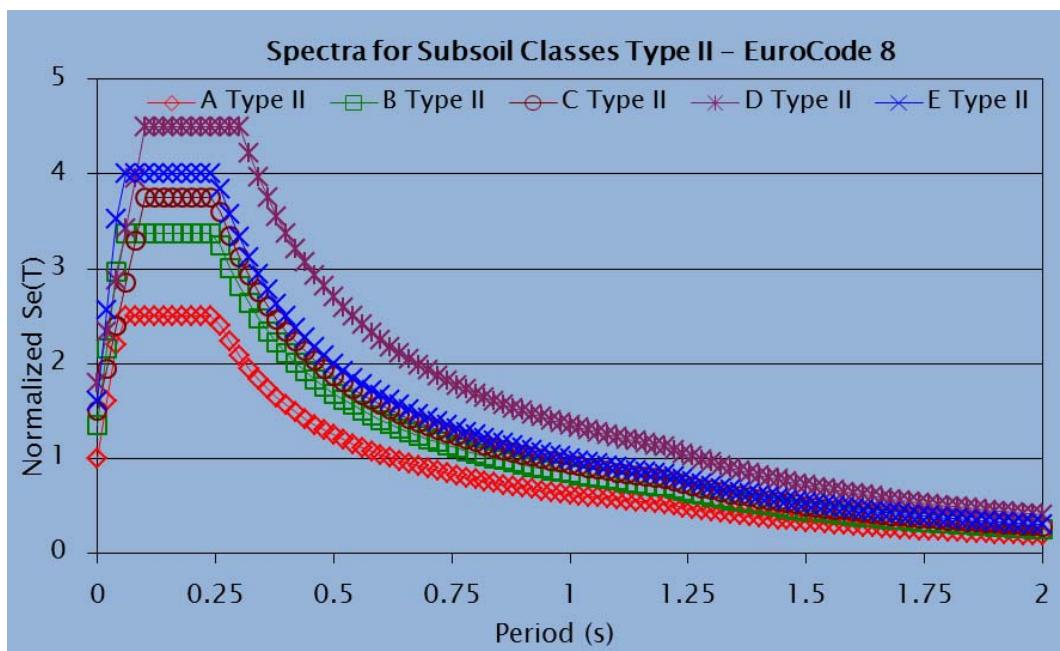


Figure 38 - EC-8 normalized elastic response spectrum for each ground type for earthquake type II

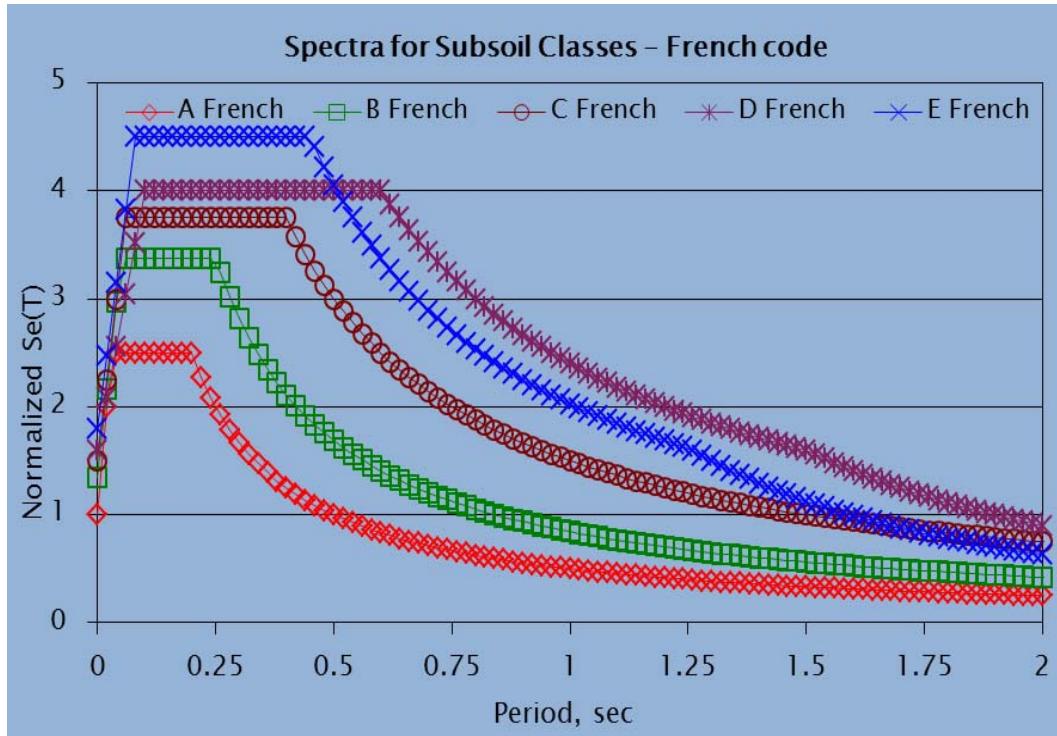


Figure 39 - French national annex normalized elastic response spectrum for each ground type

Parameters of each spectrum code are presented here below Figure 40

Type	EC8-Type I				EC8-Type II				French code			
	S	Tb(s)	Tc(s)	Td(s)	S	Tb(s)	Tc(s)	Td(s)	S	Tb(s)	Tc(s)	Td(s)
A	1	0.05	0.4	2.0	1	0.05	0.25	1.20	1	0.03	0.2	2.5
B	1.2	0.05	0.5	2.0	1.35	0.05	0.25	1.20	1.35	0.05	0.25	2.5
C	1.15	0.10	0.6	2.0	1.50	0.10	0.25	1.20	1.50	0.06	0.4	2.0
D	1.35	0.10	0.8	2.0	1.80	0.10	0.30	1.20	1.60	0.1	0.6	1.5
E	1.4	0.15	0.5	2.0	1.60	0.05	0.25	1.20	1.80	0.08	0.45	1.25

Figure 40 - Spectra parameters for EC-8 (type I and type II) and for French code (French national annex of EC-8)

For our study, parameters to be defined by each country (S, Tb, Tc and Td) are defined taking into account EC-8 and French code values and geology knowledge. Apart new ground types are defined (not proposed in the code) and only one type of spectrum is

defined for each class (only one type of earthquake, as in other codes). For each ground type, the main characteristics of spectra are (Figure 40):

- **Type A:** the same as A EC-8 type II, the same definition of rock type.
- **Type B:** the same as B EC-8 type II
- **Type B':** this class presents less amplification at lower periods and more amplification in medium periods (experimental data in Cerdanya basin, Macau et al, 2007). S value is expected to be lower than B, also because Tc is higher (due to deep sediments). **Type C:** same as C EC-8. Tc value is fixed to 0.3 s in order to have expected amplification on medium periods (French value is taken =0.4s).
- **Type D:** less amplification than E class is expected for low periods because contrast with basement in E seems to have more amplification than D. For this S value is changed to 1.6 as in French code.
- **Type E:** From geophysical experience, the contrast of E class implies more amplification, S value is upgraded to 1.8, as in French code. In the contrary we propose a lower value for Tc, in order to have less amplification for longer periods (in opposition to values taken in French code....).
- **Type F:** this new class is for taking into account C and D soils with a thickness bigger than 100m, for this Tc value is defined bigger than others (to be amplified for higher periods). S value is fixed to 1.5, the same as C type, as for our geology we expect that F corresponds to a Vs30 of C type. Tc is proposed to be 0.40

Type	Spectrum	S	Tb(s)	Tc(s)	Td(s)	
A	A-EC8 type 2	1.00	0.05	0.25	1.20	
B	B-EC8 type 2	1.35	0.05	0.25	1.20	
B'	New	1.20	0.05	0.35	1.20	
C	C-EC8 type 2	1.50	0.10	0.30	1.20	
D	D EC8 type 2 with S from E	1.60	0.10	0.30	1.20	
E	E EC8 type 2 with S from D					
F	New	1.50	0.10	0.40	1.20	

Figure 41 - Spectrum proposals for each SISPyr ground type

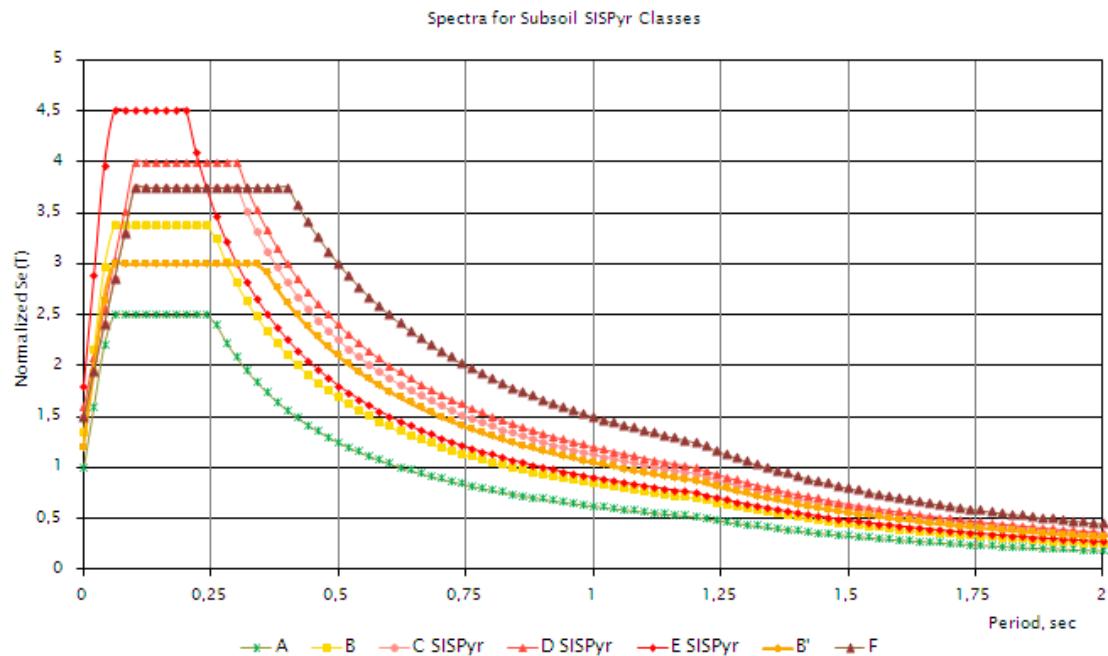


Figure 42 - Proposed spectrum for each SISPyr ground type.

In order to compare SISPyr proposed spectra with other national codes, Figure 43 summarizes typical values of the parameters that define spectra for different national codes.

	EC-8		Anejo Nacional Francés	Anejo Nacional Portugués	NTC-08	Fema 450	NCSE-02 NCSP-07
	Espectro tipo 1	Espectro tipo 2					
S _{am/a} (en roca)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,24-2,92	2,5	2,5
T _c en roca (S)	0,4	0,25	0,2	0,25 (Locales) 0,60 (Gorringe)	0,25-0,54	0,22-0,51	0,4 (Locales) 0,6 (Gorringe)
T _D (S)	2,0	1,2	1,25-2,0	2,0	2,0-3,0	4,0-16,0	3,0-5,0
Valores S	1,0-1,4	1,0-1,8	1,0-1,8	1,0-2,0	1,0-1,8	1,0-2,5	1,0-2,0
Valores C	1,0-2,0	1,0-1,2	1,0-3,0	1,0-1,33	1,0-2,52	1,0-1,5	1,0-2,0
Producto SxC	1,0-2,7	1,0-2,16	1,0-4,8	1,0-2,7	1,0-4,64	1,0-3,5	1,0-4,0

Figure 43 - Main spectra parameters for different national codes (Bernal, 2011)

4.2. Amplification factors (F_a, F_v)

In order to compute shake maps we will use default procedure of ShakeMap v3.5. A table with amplification factors for each class and different acceleration input values have to be defined. Default values used in most applications are the ones defined in Borcherdt, 1994 (Figure 44). These values are computed with experimental data and for Fourier spectra. After Borcherdt study, lots of other studies determining amplification factors have been done (Power, 2004).

Class	Vs30	Average shear wave velocity for local geological units						
		Short-Period (PGA)			Mid-Period (PGV)			
		150	250	350		150	250	350
B	1130	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
BC	750	1.15	1.11	1.04	0.98	1.31	1.28	1.24
C	560	1.28	1.19	1.07	0.97	1.58	1.52	1.45
CD	360	1.49	1.33	1.12	0.94	2.10	1.99	1.83
D	270	1.65	1.43	1.15	0.93	2.54	2.36	2.14
DE	180	1.90	1.58	1.20	0.91	3.30	3.01	2.65
E	180	1.90	1.58	1.20	0.91	3.30	3.01	2.65
								2.29

Figure 44 - Default ShakeMap amplification factors (Borcherdt, 1994)
Classes refers to NEHRP ground types <> EC8

For our approach we discard using Borcherdt amplification factors as they only take into account Vs30 and exist several studies that show the insufficiency of Vs30 to determine amplification due to other study that show the no validity of the regressions of that study (Castellaro, 2008).

Apart the degree of nonlinearity is large for NEHRP Category E ($V_{s-30}, 180 \text{ m/s}$) but decreases rapidly with V_{s-30} , and is small for $V_{s-30}, 300 \text{ m/s}$ (Choi, 2005). We have few soils with Vs30 < 180 m/s and they aren't in a typical epicentral area, so no big value for input PGA could be expected at sites D of our region.

According to definition of SISPyR ground types, and considering amplification factors proposed for new SISPyR adapted spectra, we propose new values for F_a and F_v , supported by the following argumentations:

4.2.1. Qualitative description

- **Type A (and A')**: no amplification is expected on basement.
- **Type B**: No so much amplification, depending on the cases (depth and Vs) we can expect more amplification in F_a or in F_v .

- **Type B'**: This class presents less amplification at proposed spectra at lower periods than class B and more amplification in medium periods. For this Fa value could be lower than B class, and Fv value has to be bigger.
- **Type C**: More amplification is expected than B class for softer materials.
- **Type D**: S value is changed to 1.6, as in French code. Due to no superficial high contrast, less amplification than ground type E at lower periods is expected. For medium periods high amplification is expected as it corresponds to very soft materials.
- **Type E**: Contrast is expected to have major influence. For this S value is upgraded to 1.8, as in French code.
- **Type F**: This new class is for taking into account C and D soils with a thickness bigger than 100m, for this Fv value is expected to be bigger than Fv value of C and D. Fa could be similar of C ground type Fa.

4.2.2. Amplification periods and Fa/Fv

Apart of this qualitative description, expected range of more amplifier periods were computed for different depths and Vs values, using relation proposed in Bard, 1985 to determine an approximation of fundamental period:

$$T = \frac{4H}{Vs}$$

With this computed values more amplifier periods in the Fourier Spectra (FS) for each class are estimated (Figure 45). Appendix 1 contains the computed value for each Vs, thickness (H) and ground type. We assume that the period of maximum amplification of Fourier spectra will be around the maximum of response spectra damped 5% (period no amplification value).

Combining qualitative expected amplification factors and estimated amplification periods, a qualitative description of Fa, Fv and Fa/Fv are also estimated (Figure 45).

Ground type	Expected amplification T	Fa	Fv	Fa/Fv
B	0.2-0.8	Medium	Medium	<1
B'	>0.86	Low/med	High	<<1
C	0.3-1.3	Medium	Medium	<1
D	0.6-2	Medium	High	<<1
E	0.1-0.3	High	Med/low	>1
F	>1.4	medium	High	<<1

Figure 45 - Expected amplification periods (column 2), qualitative description of Fa, Fv and relation about Fa and Fv for each ground type.

4.2.3. Fa and Fv computation

According to this qualitatively description and expected amplification periods, proper procedure to compute Fa and Fv values have to be defined and applied. Borcherdt approach doesn't take into account the thickness and different contrast of the layers, so it can only be applied to SISPyr ground types where these variables are not important.

In order to have an idea of relation between each soil response spectrum and rock spectrum, we normalize the response spectra presented in last section with rock spectrum. Obtained results for SISPyr and French code spectra are presented in Figure 46 and Figure 47 respectively.

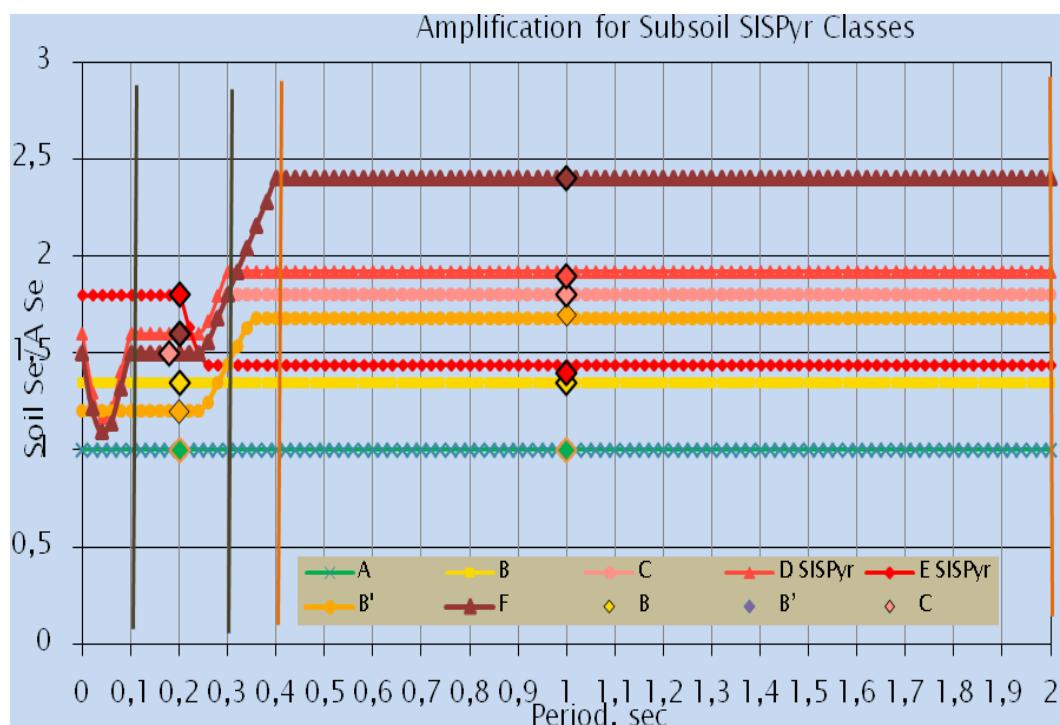


Figure 46 – Amplification factor for each SISPyr ground type and for all the periods

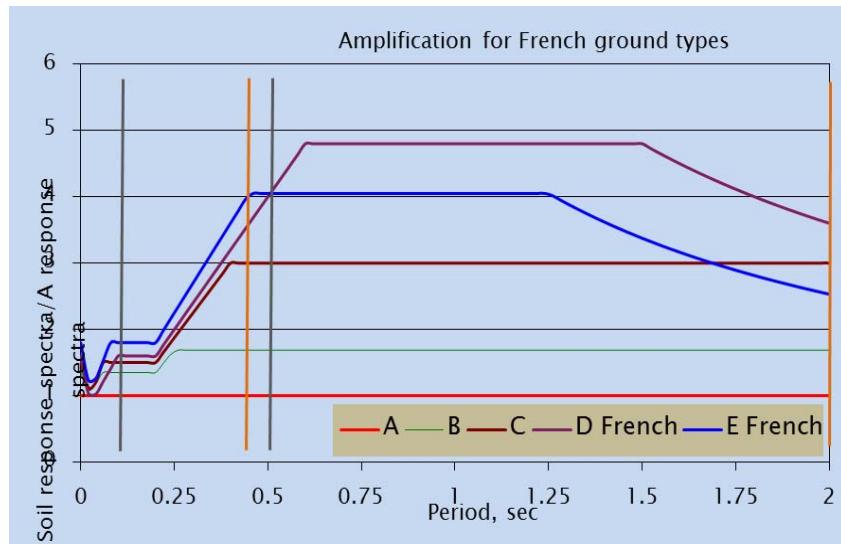


Figure 47 – Amplification factor for each French ground type and for all the periods

Amplification factors computed with the ratio between 5% response spectra for each class with rock class, for EC-8, French code and SISPyr for each class are presented in Figure 48.

Class	SISPyr				EC-8 type 2				French code			
	Fa		Fv		Fa		Fv		Fa		Fv	
	0.2s	0.1-0.5s	1.0s	0.4-2s	0.2s	0.1-0.5s	1.0s	0.4-2s	0.2s	0.1-0.5s	1.0s	0.4-2s
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.55
B'	1.2	1.45	1.68	1.68	-	-	-	-	-	-	-	-
C	1.5	1.68	1.80	1.80	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.86	2.4	2.76
D	1.6	1.79	1.92	1.92	1.8	2.0	2.2	2.2	1.6	2.05	3.8	4.10
E	1.8	1.80	1.80	1.80	1.6	1.6	1.6	1.6	1.8	2.35	3.2	3.30
F	1.5	1.63	2.40	2.38	-	-	-	-	-	-	-	-

Figure 48 – Ratios of soil response spectra at 5% with rock response spectra at 5%. At defined periods (0.2 s and 1.0 s) and mean between defined intervals (0.1-0.5 for Fa or 0.4-2.0 for Fv).

Figure 49 presents the Spanish code ground types and associated amplification computed with the same procedure.

Ground type	V _{s30} (m/s)	F _a (0.3s)	F _v (1.0s)	Associated ΔI ¹ (F _a)
I	>750	1.0	1.0	0
II	400-750	1.3	1.7	0.4
III	200-400	1.6	2.6	0.7
IV	<200	2.0	4.0	1.0

Figure 49 – Spanish seismic code ground types and associated F_a and F_v computed at 5% damped response spectra.

Then F_a and F_v values will be assigned according to proposed spectra in last subsection and taking into account other amplification factors determinations. In particular for PGA > 200 gals amplification factors are reduced by the same factor as Borcherdt (2002) proposes.

Proposed values are presented in Figure 50.

Ground type	<200 gal		> 200 gal		Comments
	F _a	F _v	F _a	F _v	
A	1.0	1.0	1.0	1.0	Reference basement
B	1.35	1.35	1.15	1.26	Same values than EC8
B'	1.2	1.7	1.0	1.58	Less amplification than B for short periods and more amplification for long periods
C	1.5	1.8	1.17	1.26	F _v is expected to be higher than F _a
D	1.6	1.9	1.2	1.75	F _v is expected to be higher than F _a
E	1.8	1.4	1.35	1.33	F _v is expected to be lower than F _a

Figure 50 – F_a and F_v assignation to each SISPyr ground type.

4.3. Amplification in terms of intensity

Amplification factors in terms of intensity will be computed from PGA and PGV amplifications and a GMICE (Ground Motion to Intensity Conversion Equation).

From GMICE:

$$I = a + b \cdot \log(PGx),$$

Then amplification factor for Intensity will be:

$$\Delta I = I_{soil} - I_{rock} = b(\log(PGx \cdot F_x) - \log(PGx)) \quad \Delta I = b(\log(F_x))$$

¹ Computed with Spanish code PGA versus Intensity relationship.

Which for each parameter, take different values depending on selected GMICE:

$$\Delta I = s1 * b1 \log(Fa) + s2 * b2 \log(Fv)$$

We have considered, that $s1=s2=0,5$

From Souriau, 2006 $I_{PGA} = 4.8 + 1.2 \log_{10}(22.8) + 2.7 \log_{10}(PGA)$

From Faccioli and Cauzzi, 2006 $I_{PGV} = 5.1 + 1.8 \log_{10}(PGV)$

Then $\Delta I = 0,5 * 1,2 \log(Fa) + 0,5 * 1,8 \log(Fv)$

	PGA. Fa	PGV. Fv	ΔI
E	1.8	1.4	0.48
D	1.6	1.9	0.53
C	1.5	1.8	0.47
B'	1.2	1.7	0.31
B	1.35	1.35	0.29
A'	1	1	0.00
A	1	1	0.00

5. Conclusion

A soil classification in 6 classes has been proposed, based on EC8 definition, incorporating a new class B' in order to take into account deep basins.

A standard definition of SISPYR spectra has been proposed for the different classes of soil, combining the experience on field measurements, definitions of EC8 type 2 spectra, French, Spanish and other countries proposed spectra. They can be seen as an adaptation of EC8 spectra to Pyrenees conditions. They can be used in seismic risk analysis, as standard spectra to be adapted to probabilistic results for rock sites. The proposed spectra can be used to represent seismic scenarios for earthquakes with moderate magnitude rang ($M < 6.5$)

Amplification values (F_a and F_v) for Shakemap purposes have been proposed for moderate ground motion (expected in the Pyrenees), adapted from different published values and mainly from spectral amplification of SISPYR spectra.

Amplification is also proposed for the different ground classes, in terms of Intensity, in order to be used in Shakemap. It has been mainly deduced from empirical relations proposed on GMICE.

6. References

6.1. *Sispyr reports (Action 4.1)*

SISPyr report R07. Bertil D., Nus E. (2010). ShakeMap. State of the art and bibliographic synthesis (www.sispyr.eu)

SISPyr report R08. T.Susagna, D. Bertil, E. Nus, J. Roviró, S. Auclair, X. Goula (2012). Shake-map GMPE IPE and GEMICE selection. (www.sispyr.eu)

SISPyr report R09. Jara J-A, Goula X., Bertil D, Roviro J. (2012). Shake map automatic process (www.sispyr.eu)

SISPyr report R10. Colas B, Goula X, Rouille A., I. Garcia, P. Buxo, I. Roviro, J., Dewez T., Nus E. Shake-Map - Site effect corrections (www.sispyr.eu)

SISPyr Report R10b. D. Bertil, J. Roviró, J.A. Jara, T. Susagna, E. Nus, X. Goula, B. Colas, G. Dumont, L. Cabañas, R. Antón, M. Calvet (2012). Cartes de mouvement du sol ShakeMaps - Synthèse des procédures de régionalisation et de réponse rapide (www.sispyr.eu)

6.2. *Bibliographic references*

Allen T.I & D.J. Wald D. (2009a). On the Use of High-Resolution Topographic Data as a Proxy for Seismic Site Conditions (VS30) , Bull. Seism. Soc. Am., 99, 935-943.

Ashland, F. X. (2001). Site-response characterization for implementing ShakeMap in northern Utah, Utah Geol. Surv. Report of Investigation 248, 10 pp.

Bauer, R.A., J. Kiefer, and N. Hester (2001). Soil amplification maps for estimating earthquake ground motions in the Central US, Engineering Geology, 62, 7-17.

Bernardie S., Delpont G., Dominique P., Le Roy S., Negulescu C., Rouillé A. (2006) – Microzonage sismique de Lourdes. BRGM/RP-53846-FR, 234 p., 86 fig., 35 tabl., 12 pl. hors texte, 1 volume annexes.

Borcherdt, R. D. (1994). Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), Earthquake Spectra 10, 617–654

Borcherdt R D. (2002). Empirical evidence for acceleration-dependent amplification factors [J]. Bull Seism Soc Amer, 92(2): 761–782.

Böse M., Sokolov V., Wenzel F. (2009) Shake Map Methodology for Intermediate-depth Vrancea (Romania) Earthquakes. Earthquake Spectra, Volume 25, No. 3, pages 497–514,

Brackman T.B.,(2006) Implementing ShakeMap for the New Madrid Seismic Zone. Seismological Research Letter, v 77, n°4, 445-452.

Castellaro, S., F. Mulargia, and P. M. Rossi (2008). VS30: proxy for seismic amplification?, Seism. Res. Lett. 79, 540-542.

Colas B., J. Cirés, S. Figueras, A. Rouillé, A. Macau, and J. Fleta (2006). Geological and lithological characterization for a seismic zonation in a border region (Cerdanya, Spain-France). Proceedings of the 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Barcelona

SISPYR / Interreg IVA

Convertito V., R. De Matteis, L. Cantore, A .Zollo, G. Iannaccone and M. Caccavale (2009) Rapid estimation of ground-shaking maps for seismic emergency management in the Campania Region of southern Italy. *Natural hazards*, 2009, doi: 10.1007/s11069-009-9359-2

Bertil D, Nus E, Goula X. (2010). SISPyr project. Action 4.1 Shake Map: State of art and bibliographic synthesis (www.sispyr.eu).

EUROCODE 8 (2004) - Design of structures for earthquake resistance. General rules, seismic actions and rules for buildings. BS EN 1998-1:2004

ENV 1998-1-1, EUROCODE 8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures. Seismic actions and general requirements of structures. CEN/TC 250, Draft 4, December 2001.

Fleta, J., Estruch, I. i Goula, X. (1998): Geotechnical characterization for the regional assesment of seismic risk in Catalonia. Proceedings 4th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society, pàg. 699-702. Barcelona, setembre 1998

Goula X.; P. Buxó, I. García, E. Saula, J. Fleta, A. Macau, S. Figueras & J. Cirés. Catalonian seismic mesozoning map (1:100.000). 7th EUREGEO- Bologna June 2012.

Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNNDT), Giovanna Cultrera, Antonio Rovelli (2003) - Terremoti probabili in Italia dal 2000 al 2030: elementi per la definizione di priorità per la riduzione del rischio sismico, Task 3.2 "Local Geology Effect on Seismic Hazard"

Gallipoli M.R., Muciarelli L (2009) Comparison of site classification from Vs30, Vs10 and HVSR in Italy. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 99 (1).

IGC (2011) SISPYR: Síntesi dels dipòsits quaternaries i cubetes neògenes en el Sector ibèric (Guipuzcoa, Navarra Atragó i Catalunya. SISPYR Report

Iwahashi J., Kamiya I., Matsuoka M. (2009) Regression analysis of Vs30 using topographic attributes from a 50-m DEM. *Geomorphology*

Iwahashi, J. and Pike, R.J. (2007). Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology*, 86:3-4, 409-440.

Holzer, T. L., A. C. Padovani, M. J. Bennett, T. E. Noce, and J. C. Tinsley, III (2005). Mapping VS30 site classes, *Earthquake Spectra* 21, 353–370.

Kanli A.I., Tildy P., Pronay Z., Pinar A., Hermann L. (2006) VS30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turkey. *Geophysical Journal International*, vol 165, 1, 223-235.

Macau , A., S. Figueras and T. Susagna (2006a). Efectos de suelo en Andorra and la Cerdanya. Nota técnica. ISARD Technical Note, March 2006.

Macau A., S; Figueras, B. Colas, B. Le Brun, A. Bitri, T. Susagna, J. Cirés, M. González, and A. Rouillé (2006b). Seismic microzonation in two valleys of the Eastern Pyrenees: Andorra and the Cerdanya. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006

Macau, A., Figueras, S., Susagna, T., Colas, B., La Brun, B., Bitri, A., Cirés, J., González, M. i Rouillé A. (2007). Microzonación sísmica en el Pirineo Oriental en términos de aceleración e intensidad macrosísmica. *3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 Mayo, 2007*

Matsuoka, M., Wakamatsu, K., Fujimoto, F. and Midorikawa, S. (2006). Average shear-wave velocity mapping using Japan engineering geomorphologic classification map. *J. Struct. Mech. & Eqk. Eng.*, 23:1, 57s–68s.

Mucciarelli M. and Gallipoli M.R. (2006) Comparison between VS30 and other estimates of site amplification in Italy. First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006. paper number 270.

Nus E., Bertil . (2010) SISPYR Program. M4.1 ShakeMap: State of the art and bibliographic synthesis (Programme opérationnel Interreg IVA France-Espagne-Andorre 2007 – 2013)

Stewart J-P. & al (2012) Site Effects in Parametric Ground Motion Models for the GEM-PEER Global GMPEs Project. 15th WCEE Lisboa.

Rey J., Faccioli E. & Bommer J.J. (2002). Derivation of design soil coefficients (S) and response spectral shapes for Eurocode 8 using the European Strong-Motion Database - *Journal of Seismology* 6: 547–555, 2002.

Rouillé A., Auclair S., Dewez T., Hohmann A., Lemoine A., Rey J. (2010) – Cartographie automatique des classes de sol à l'échelle régionale à partir d'un modèle numérique de terrain ou de surface. Rapport final. BRGM/RP-58853-FR, 66 p., 29 fig., 11 tabl.

Wald, D. J., Worden, B. C., Quitoriano, V., and Pankow, K. L. (2005) . ShakeMap Manual: Users Guide, Technical Manual, and Software Guide, USGS Techniques and Methods, 12-A1, 128 pp.

Wald D.J. & T.I. Allen (2007). Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification. , *Bull. Seism. Soc. Am.*, 97, 1379-1395.

Wills, C. J., M. D. Petersen, W. A. Bryant, M. S. Reichle, G. J. Saucedo, S. S. Tan, G. C. Taylor, and J. A. Treiman (2000). A site-conditions map for California based on geology and shear wave velocity, *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, S187–S208.

Wills, C., and C. Gutierrez (2008). Investigation of geographic rules for improving site-conditions mapping, *Calif. Geol. Surv. Final Tech. Rept.*, 20 pp. (Award No. 07HQGR0061).

Yong, A., Hough, S.E., Iwahashi, J. and Braverman, A. (2012). Terrain-Based Site Conditions Map of California with Implications for the Contiguous United States. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 102, 114-128.

APPENDIX

Appendix 1

IGC (2011) SISPYR: Síntesi dels dipòsits quaternaris i cubetes neògenes en el Sector ibèric (Guipuzcoa, Navarra Atragó i Catalunya.



Programme opérationnel Interreg IV A
France-Espagne-Andorre 2007 – 2013



SISPyR

Sistema de Información Sísmica del Pirineo
Système d'Information Sismique des Pyrénées
Sistema d'Informació Sísmica dels Pirineus

SISPyR. Síntesi dels dipòsits quaternaris i cubetes neògenes en el Sector Ibèric. (Guipúscoa, Navarra, Aragó i Catalunya)



Main contributor: IGC / GGP

2011-06-29

-
1. IGC, Institut Geològic de Catalunya
 2. OMP, Université Paul Sabatier, Observatoire Midi-Pyrénées
 3. UPC, Universitat Politècnica de Catalunya
 4. IGN, Instituto Geográfico Nacional
 5. BRGM

© 2011 SISPYR project

ÍNDEX DOCUMENT

Memòria

Annexes

Annex I: Mapa geomècànic del sector ibèric

Annex II: Plànol de sondatges bibliogràfics del sector ibèric

Annex III: Classificació litològica de les unitats geològiques

Índex memòria

1	Introducció	1
1.1	Objectius	1
1.2	Criteris de classificació	1
1.3	Metodologia de construcció del mapa geomècànic EC-8 (1:400.000)	6
1.3.1	Síntesi bibliogràfica del quaternari	8
1.3.2	Base de dades de sondejos	9
2	Descripció dels dipòsits quaternaris	11
2.1	Dipòsits glacials	11
2.1.1	Cubetes de sobreexcavació glacial	11
2.1.2	Cubetes de sobre-excavació de formació proglacial	15
2.1.3	Cubetes de sobre-excavació de formació juxtaglacial	16
2.1.4	Cubetes de formació per fracturació del substrat rocós	16
2.1.5	Complexes glaciolacustres	17
2.1.6	Cordons morènics (tills i glaceres rocalloses)	21
2.2	Dipòsits fluvials, al·luvials i col·luvials	23
2.2.1	Dipòsits del sector Navarro-aragonès	24
2.2.2	Dipòsits del sector guipuscoà	29
2.2.3	Dipòsits del sector català	31
2.3	Dipòsits litorals	38
2.3.1	Dipòsits litorals del baix Maresme i rieres	39
2.3.2	Delta del Fluvia-Muga	40
2.3.3	Delta de la Tordera	40
2.3.4	L'estuari del riu Bidasoa	42
3	Conques neògenes	43
3.1	Fossa de la Cerdanya	43
3.2	Depressió de l'Empordà	44
3.3	Depressió de La Selva	44
3.4	Depressió del Vallès	45
4	BIBLIOGRAFIA	47

Llistat de figures i taules

Taula 1. Classificació del terreny segons la velocitat de les ones s,30.	3
Taula 2. Classificació geomècànica EC-8 (entre parèntesis profunditat del tipus de terreny) (X: qualsevol tipus de terreny).	4
Taula 3. Relació característiques de superfície i substrat amb classificació EC-8.	5
Figura 1. 'Geological map' de la zona d'estudi.	6
Figura 2. Dipòsits quaternaris presents en el 'geological map'	6
Figura 3. 'Quaternary map' de la zona d'estudi.	7
Figura 4. Mapa de situació de sondatges amb la classificació EC-8 per a cada punt.	7
Figura 5. 'Mapa geomècànic' segons la classificació EC-8.	8
Figura 6. Font de la base de dades	9
Figura 7. Tipus de captació del CHE.	9
Figura 8. Perfs geoelèctrics transversal i longitudinal de la cubeta d'Esterri d'Àneu. Llegenda: 1. Substrat rocós paleozoic resistent; 2. Rítmies glacio-lacustres amb resistivitats inferiors a 90 Ωm; 3. Dipòsits fluvio-deltaics amb resistivitats compreses entre 400 i 600 Ωm; 4. Cons de dejecció subactuals amb resistivitats superiors a 1000 Ωm; 5. Dipòsits al·luvials subactuals amb resistivitats molt variables.	12
Figura 9. Tall geològic de la cubeta de la vall de Tena i unitats isoresistives (Turu <i>et al.</i> , 2007).	13
Figura 10. Tall geològic de la cubeta de sobreexcavació glacial de Benasque. Llegenda: 1, Substrat paleozoic; 2, Till; 3, Argiles glaciolacustres; 4, Dipòsits fluviodeltaics; 5, Cons de dejecció subactuals; 6, Dipòsits al·luvials subactuals (Bordonau <i>et al.</i> , 1989) i Bordonau, 1992, pàg. 149).	13
Figura 11. Tall geològic de la cubeta de sobreexcavació glacial de Bono (vall de la Noguera Ribagorçana). Llegenda: 1, Substrat paleozoic; 2, Argiles glaciolacustres; 3, Dipòsits fluviodeltaics i dipòsits al·luvials subactuals; 4, Dipòsits fiuvitorrentials subactuals (Bordonau <i>et al.</i> , 1989 i Bordonau, 1992, pàg. 140).	14
Figura 12. Plànor de situació de la cubeta de Barruera (Vilaplana <i>et al.</i> , 1983).	14
Figura 13. Perfil geoelèctric longitudinal de la cubeta de Barruera (Vilaplana <i>et al.</i> , 1983).	15
Figura 14. Perfil geoelèctric longitudinal de la cubeta proglacial del seminari de Vilaller (Noguera Ribagorçana). Llegenda: 1, Substrat paleozoic; 2 till supra-glacial; 3, till glacial; 4, argiles glacio-lacustres amb resistivitats inferiors a 100Ωm; 5, dipòsits fluvio-deltaics amb resistivitat 200Ωm; 6 Dipòsits al·luvials subactuals amb resistivitats de 100Ωm.	16
Figura 15. Perfil geoelèctric de la llacuna de les basses d'Ules (Vall de Garona). Llegenda: 1, Substrat paleozoic amb resistivitats superiors a 700 Ωm; 2, Argiles lacustres amb resistivitats inferiors a 45 Ωm; 3, Torba subactual amb resistivitats de l'ordre de 200 Ωm; 4: Dipòsits de vessant subactuals.	17
Figura 16. Talls geològics del la cubeta lacustre de Llauset (Vilaplana <i>et al.</i> , 1983).	19
Taula 4. Informació del gruix de la cubeta a partir de dades sísmiques i sondeigs (Vilaplana, 1982).	19
Figura 17. Tall geomorfològic del complex glacio-lacustre juxtaglacial de Llestui mostrant la unitat glacial (1 i 2), la unitat glacio-lacustre central (3) i la unitat al·luvial (4) (Vilaplana, 1983).	20
Figura 18: Perfil longitudinal (W-E) de la Vall de Son. A: Circ de la canal de lo Tenedor; B: Campolado; C: les Planes de Son; D:Son; E: Esterri d'Àneu. 1: Tills glacials; 2: Dipòsits periglacials amb blocs d'origen glacial; 3: morenes de glacera rocallosa; 4: Con de dejecció (fiuvitorrential o fluvioglacial); 5: dipòsits fluviodeltaics; 6: dipòsits glaciolacustres i 7: substrat rocós (Ventura Roca, 2010)	21
Taula 5. Taula que representa característiques de diverses glaceres rocalloses del Pirineu aragonès. AR; Argualas, GE: Gemelos, BE: Bessiberry, BA Bastampé, GU, Guerreys. Serrano <i>et al.</i> (2004)	22

Figura 19. Seccions del riu Ara al llarg del seu recorregut (Rubio <i>et al.</i> , 1995)	25
Figura 20. Esquema geològic del conjunt de terrasses i glacis del riu Aragón. Esquema geològic. Escala 1:200.000. INYPSA Gobierno de Navarra (Full 207)	26
Figura 21. Esquema geològic de la desembocadura del riu Arga i Zidacos al Aragón. Esquema geològic Escala 1:200.000. INYPSA Gobierno de Navarra (Full 206)	27
Figura 22. Peudemont plioquaternari del sector central pirenaic (Alberto <i>et al.</i> , 1983)	29
Figura 23. Nivells de terrasses del riu Oiartzun. (Edeso, 2006).....	30
Figura 24. Geologia de la conca del Tordera (ACA, 2002)	32
Figura 25. Mapa geològic de la desembocadura del Ter (Martinez, 1971).....	34
Figura 26. Tall longitudinal de la plana del riu Daró.	35
Figura 27. Tall longitudinal de la plana del Terri (Qtam: Travertins al·luvials, Qt3: Terrassa 3, Qtvb: Travertins de vessament, Qlld: Llots carbonatats de l'estany, Qac2: Dipòsits al·luvials-col·luvials d'edat terrassa 2, Qt0: Terrassa 0, Qlla: Dipòsits de llera actual) (Mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.000, full Banyoles). ACA 2003.	36
Figura 28. Perfil geològics de les unitats quaternàries. Font: Mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.000; full de Sarrià de Ter. Unitats geològiques representades als perfils: Qv2m, ventall al·luvial de Celrà; Qt3, terrassa 3; Qt2, terrassa 2; Qt1, terrassa 1; Qt0',terrassa 0'; Qt0, terrassa 0; Qcd, con de dejecció (ACA, 2003).....	36
Figura 29. Mapa geològic del Maresme (ACA, 2003)	39
Figura 30. Geologia de la riera del Ridaura. (Vilanova 2004).....	39
Figura 31. Geologia de la Riera de Calonge. (Vilanova 2004).....	40
Figura 32. Esquema zona deltaica Fluvia-Muga.	40
Figura 33. Representació del curs baix i el delta del Tordera. (Guimerà <i>et al.</i> , 2003)	41
Figura 34. Mapa geològic de l'aiguamoll de Bidasoa. Edeso (1993)	42
Figura 35. Mapa geològic de la depressió de l'Empordà (A-Paleozoic; B-Mesozoic; C-Eocè; D-Neogen Continental; E-Miocè mig i superior; F-Pleistocè; G-Miocè superior; H-Roques volcàniques; I-Holocè.	44
Figura 36. Perfil de la depressió de la Selva que mostren les falles principals i la disposició del substrat preneogen (Guimerà <i>et al.</i> , 1992).....	45
Figura 37. Mapa geològic de la Depressió del Vallès. (ITGE 1993)	46
Figura 38. Bloc diagrama esquemàtic de la Depressió del Vallès. (ITGE 1993)	46

1 Introducció

1.1 Objectius

El present informe recull alguns dels treballs que formen part del projecte Interreg SYSPYR (Sistema d'Informació Sísmica dels Pirineus). Dins del projecte s'inclou la realització d'un mapa d'efectes sísmic locals (shake map) i més concretament els relacionats amb la realització d'un mapa de caracterització del subsòl segons la classificació EC8 a escala 1/400.000. Aquest document se centra en l'elaboració de l'esmentat mapa de la part ibèrica de la serralada pirenaica.

Les classes EC-8 es defineixen a partir de diversos paràmetres entre els quals destaca: la litologia del quaternari i el substrat, la seva geometria (gruix) i la velocitat d'ona sísmica en cadascuna de les capes de terreny (contrast). L'objectiu del treball, en el sentit ampli, és assignar a cada punt del terreny un comportament mecànic dels materials, en particular la velocitat de transmissió de les ones sísmiques de cisalla en els primers 30 m de terreny ($V_{s,30}$). L'estudi s'inclou en el treball realitzat en col·laboració entre l'Institut Geològic de Catalunya (IGC) i el Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), integrant els dos vessants dels Pirineus, tant l'espanyol com el francès, que ofereix així una visió general de la influència de la geologia en el comportament i propagació de les ones sísmiques a l'àrea pirinenca.

1.2 Criteris de classificació

La possible amplificació de les ones sísmiques en superfície està determinada pel tipus de terreny aflorant i pel seu gruix. Per valorar aquesta influència de la geologia en l'amplificació de les ones sísmiques, es defineixen quatre tipus de terreny considerant la velocitat de transmissió de les ones sísmiques de cisalla en els primers 30 m ($V_{s,30}$). Com que es disposen poques mesures de velocitat d'ona al llarg del territori es realitza una classificació prèvia dels materials en 4 grups en funció de les seves característiques mecàniques.

- HR: el materials presenta majoritàriament $V_s > 800$
- SR: el materials presenta majoritàriament V_s entre 360 i 800
- SS: els materials presents majoritàriament V_s entre 360 i 180
- VSS: els materials presenten majoritàriament V_s inferior a 180

Una vegada analitzats els materials en el sector ibèric de la serralada s'han assignat amb caràcter general les classes de la següent forma:

Dipòsits quaternaris

- Dipòsits recents d'origen litoral, deltaic o palustre, maresmes i aiguamolls (Holocè): VSS/SS

- Dipòsits glacials plistocens: SS
- Dipòsits recents de terrassa amb abundància de grava (Holocè): SS
- Dipòsits quaternaris antics (Plistocè) de peu demont, alluvials i colluvials: SS / SR

Sediments Neògens

- Miocè sedimentari: SR / HR
- Pliocè sedimentari: SR
- Limolites i margues amb guixos: SR

Roques Sedimentaries Paleògenes

- Materials sedimentaris oligocens, eocens i paleocens: HR
- Limolites i margues amb guixos: SR

Roques Sedimentaries mesozoiques i paleozoiques

- Materials mesozoics (inclou limolites, margues i guixos): HR
- Materials sedimentaris paleozoicos: HR
- Materials paleozoicos metamorfitzats: HR
- Roques ígnies paleozoiques: HR

Altres

- Dipòsits de granits alterats i alterites: SR
- Roques volcàniques: HR

A l'ANNEX III es detalla la classificació de cadascuna de les unitats tant del mapa geològic ("geological map"), com del mapa de quaternaris (quaternary map).

La classificació EC-8 té en compte la mitja de la velocitat de l'ona s en els 30 primers metres: Aquesta velocitat és calculada a partir de l'expressió:

$$Vs30 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{s_i}}}$$

En funció d'aquest paràmetre es diferencien els següents tipus de terreny (Taula 1):

- A: Roques poc alterades o amb lleugera alteració superficial amb valors de $V_s > 800$ m/s
- B: Dipòsits de sorra molt densa, graves o argiles fermes amb gruix de desenes de metres caracteritzades per un increment gradual de les propietats mecàniques en profunditat i amb V_s entre 360 i 800 m/s
- C: Dipòsits profunds de sorres mitges a denses, graves i argiles fermes amb gruixos d'entre varies desenes a centenars de metres i V_s al voltant de l'interval 180 i 360 m/s
- D: Dipòsits no cohesius solts i dipòsits cohesius tous amb $V_s,30 < 180$ m/s

Taula 1. Classificació del terreny segons la velocitat de les ones s,30.

Classificació del subsòl (CEN, 2001)	$V_{s,30}$
A	>800
B	360-800
C	180-360
D	<180

La classificació EC-8 completa a més de considerar el tipus de terreny que aflora en els 30 primers metres també té en compte el seu gruix, la columna estratigràfica vertical i la naturalesa del terreny subjacent. D'aquesta manera es defineixen 8 classes de terreny (Taula 2).

Taula 2. Classificació geomècànica EC-8 (entre parèntesis profunditat del tipus de terreny) (X: qualsevol tipus de terreny).

Classificació EC-8	Columna vertical del subsòl
A	A / X
	B (0-5m) / A
	C (0-5m) / A
	D (0-5m) / A
B	B (5-100m) / X
	C (0-20m) / B (20-100m)
	D (0-20m) / B (20-100m)
B'	B (>100m) / X
	C (0-20m) / B (>100m)
	D (0-20m) / B (>100m)
C	C (20-100m) / X
D	D (20-100m) / X
E	C (5-20m) / A
	D (5-20m) / A
F	C (>100m) / X
	D (>100m) / X

L'assignació de cada classe EC-8 a partir de les classificació geomècànica del terreny i els gruixos de les diferents formacions segueix un criteri lògic en funció del nombre de capes diferenciades i les seves característiques de potència i velocitat d'ona (Taula 3).

Taula 3. Relació característiques de superfície i substrat amb classificació EC-8.

Capa 1	Gruix capa 1	Capa 2	Gruix capa 2	Capa 3	Gruix capa 3	Capa 4	EC-8
HR	-	-	-	-	-	-	A
HR'	-	-	-	-	-	-	A'
SR	0-5	HR	-	-	-	-	A
	5-100	HR	-	-	-	-	B
	>100	HR	-	-	-	-	B'
SS	0-5	HR	-	-	-	-	A
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
	5-20	HR	-	-	-	-	E
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
	20-100	-	-	-	-	-	C
	>100	-	-	-	-	-	F
VSS	0-5	HR	-	-	-	-	A
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
		SS	HR	-	-	-	E
			5-20	5-100	A	B	
				>100	A	B'	
		20-100	-	-	-	-	C
		>100	-	-	-	-	F
	5-20	HR	-	-	-	-	E
		SR	5-100	HR	-	-	B
			>100	HR	-	-	B'
		SS	20-100	-	-	-	C
			>100	-	-	-	F
	20-100	-	-	-	-	-	D
	>100	-	-	-	-	-	F

1.3 Metodologia de construcció del mapa geomècànic EC-8 (1:400.000)

Per a la realització del mapa amb les classes EC-8 es disposa dels 2 mapes previs (escala 1:400.000) confeccionats pel BRGM i l'IGME que s'han anomenat dins del projecte com a 'geological map' (Figura 1 i Figura 2) i 'quaternary map' (Figura 3). El primer és un mapa d'afloraments i el segon un mapa de dipòsits quaternaris. Aquests mapes estan disponibles en format shape que delimiten polígons, els quals se'ls ha atribuït una classe geomècànica (VSS, SS, SR i HR) segons els criteris, ja comentats en els apartats anteriors, de forma que al final de la primera part del treball es disposa d'un nou mapa que es pot anomenar 'geomècànic'. Aquests polígons s'han complimentat introduint el gruix de cada polígon.

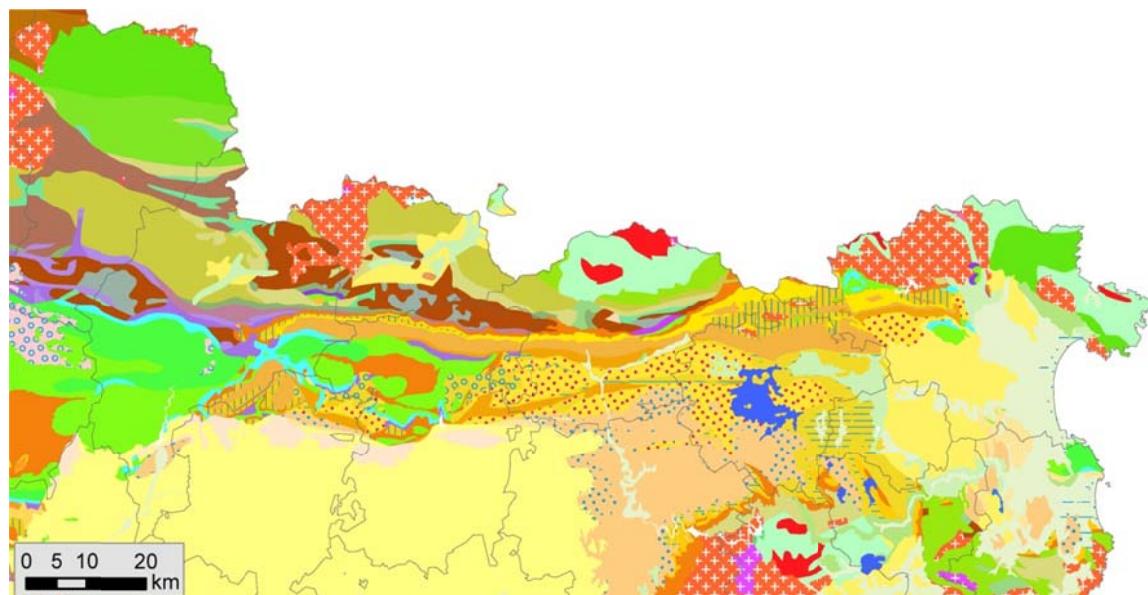


Figura 1. 'Geological map' de la zona d'estudi.

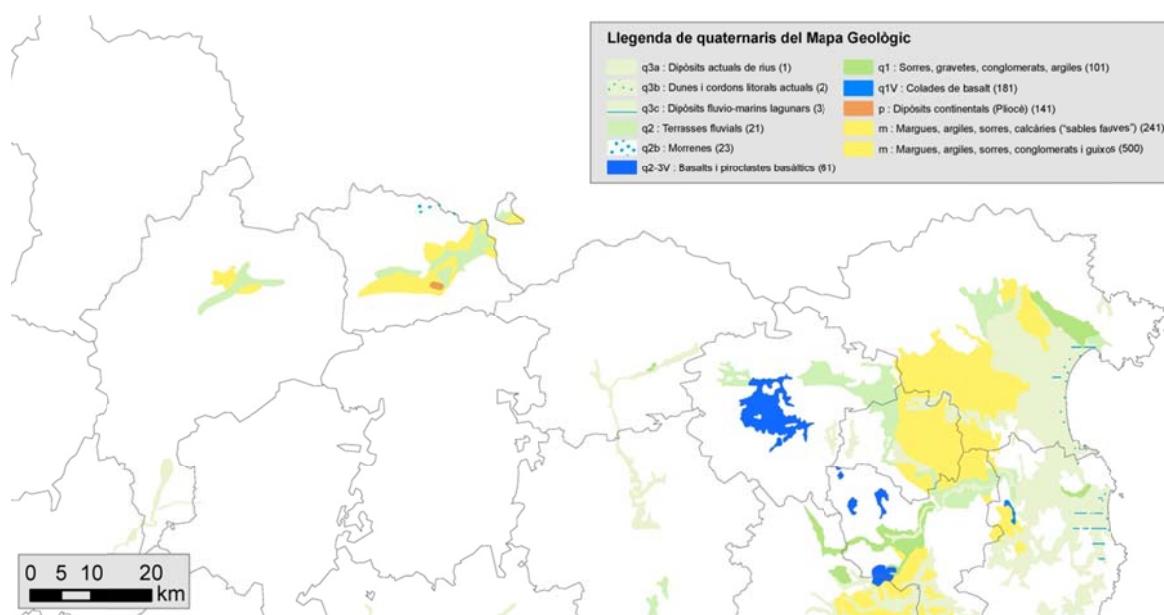


Figura 2. Dipòsits quaternaris presents en el 'geological map'.

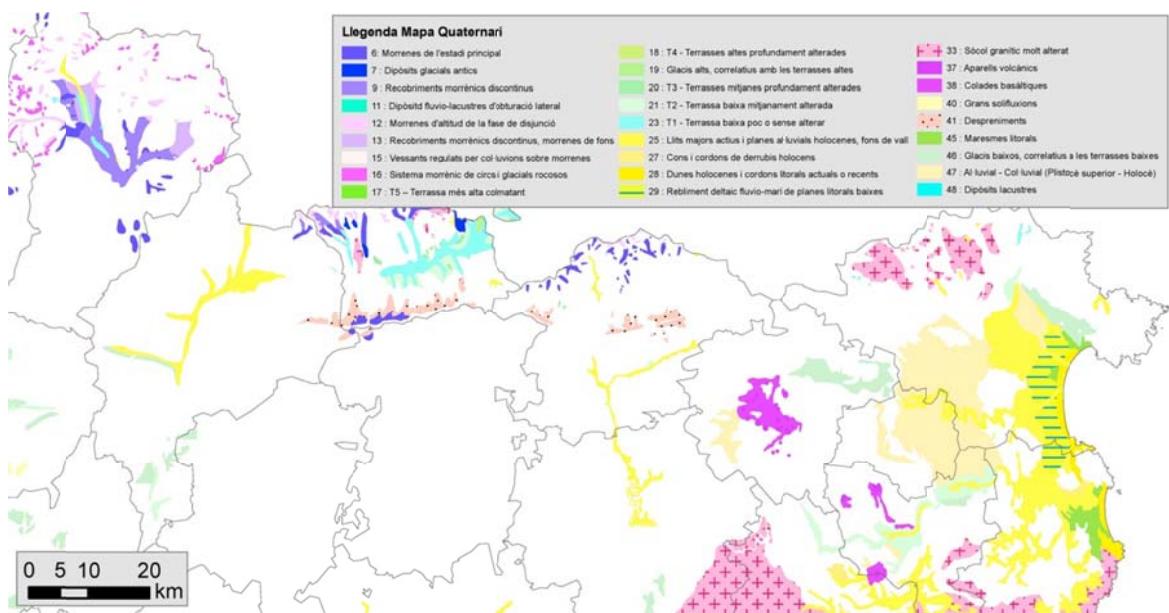


Figura 3. 'Quaternary map' de la zona d'estudi.

Per poder determinar els gruixos de les diferents unitats geològiques s'ha realitzat una primera classificació dels dipòsits quaternaris en funció del seu origen (glacial, al·luvial fluvials, etc.) i la seva ubicació geològica-geogràfica de manera que ha permès abordar el seu coneixement. De forma complementaria s'ha fet un buidatge de les bases de sondatges de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), de la Confederación Hidrogràfica del Ebro (CHE) i del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marina (MARM), tal com s'indica en els següents apartats (Figura 4).

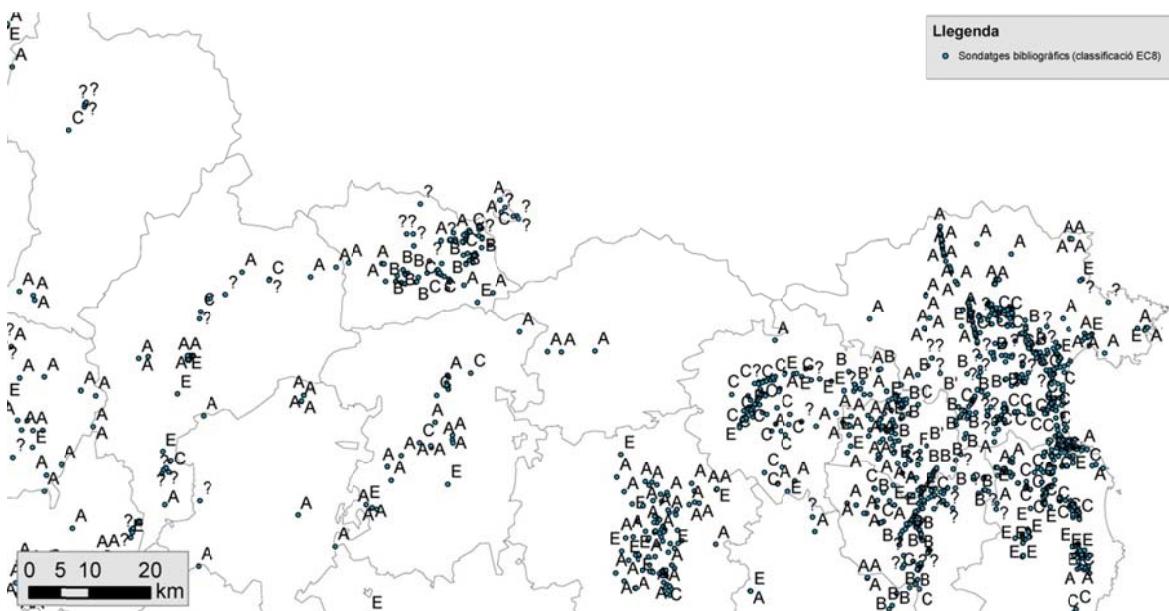


Figura 4. Mapa de situació de sondatges amb la classificació EC-8 per a cada punt.

El creuament de la informació de potències i la classificació geomècànica del terrenys ha permès assignar la classificació final EC-8 segons els criteris de la Taula 3 (Figura 5).

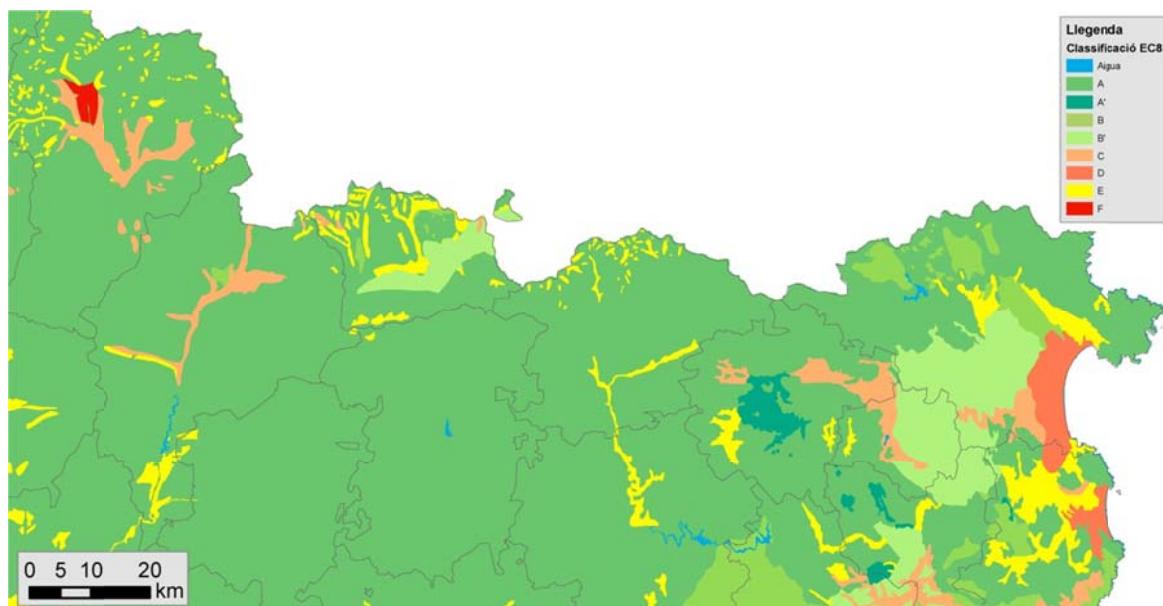


Figura 5. 'Mapa geomecànic' segons la classificació EC-8.

1.3.1 Síntesi bibliogràfica del quaternari

Per tal de conèixer la naturalesa i gruixos dels dipòsits quaternaris i les conques neògenes s'ha consultat una extensa llista de referències bibliogràfiques. Cal destacar el important treball realitzat en aquest sentit de per part dels diferents grups de recerca, investigadors i d'organismes públics que fan que el quaternari del sector ibèric sigui ben estudiat. Destaquen grups com el de la Universitat de Barcelona, el Dept. de Ciencias de la Tierra de la Universitat de Zaragoza, el Dept. de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra, les confederacions hidrogràfiques (ACA i CHE) entre d'altres.

Els dipòsits quaternaris s'han classificat en els següents grups principals:

- Dipòsits glacials
- Dipòsits al·luvials i fluvials
- Dipòsits de vessant i glacis
- Dipòsits litorals

El coneixement dels principals dipòsits ha permès assignar amb criteri potències a cadascuna de les unitats descrites en el 'mapa geològic' i el 'mapa de quaternari'. Atenent a la necessitat de conèixer la naturalesa del substrat en determinats cassos especials, sobretot quan aquest és constituit per materials del tipus roca tova, també s'ha inclòs en el treball bibliogràfic les conques sedimentàries neògenes.

1.3.2 Base de dades de sondejos

Les dades obtingudes per la recerca bibliogràfica han estat complementades amb les bases de sondejos (Figura 6) procedents dels organismes que es llisten a continuació :

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM)
- Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE)
- Agència Catalana de l'Aigua (ACA)

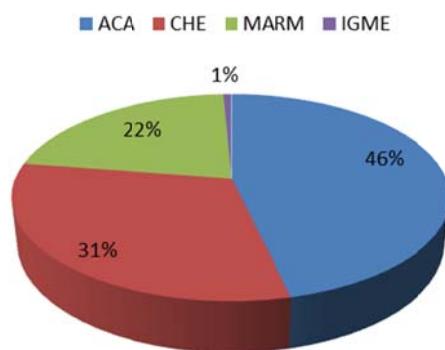


Figura 6. Font de la base de dades

La base de dades de l'ACA consta de 14.736 sondejos dels quals 3.121 són piezòmetres i 11.615 pous. Les profunditats oscil·len entre 1,9 m i 3.319 m, i proveeix les coordenades dels punts (X,Y,Z), tipus de captació, profunditat de les diferents litologies i les seva edat.

La base del CHE consta de 9.895 sondejos. Les profunditats oscil·len entre 1 m i 5.371 m, i proveeix les coordenades de situació dels sondatges (X,Y,Z), tipus de captació (Figura 7), municipi, província, toponímia, litologia, edat geològica, observacions, profunditats i les dates de realització.

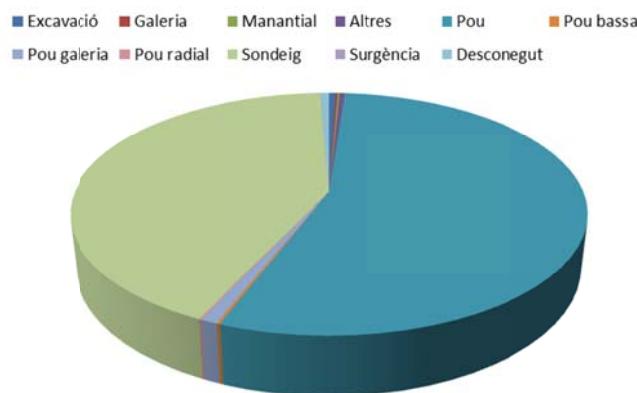


Figura 7. Tipus de captació del CHE.

La base del MARM consta d'un total de 6.941 pous i les profunditats oscil·len entre 1 m i 505 m. També hi ha informació de les coordenades (X,Y,Z), demarcació, unitat hidrogeològica, província, municipi, profunditats, litologia i edat geològica.

Finalment es va revisar la base de dades de l'IGME però la major part es troben fora de la nostre zona d'estudi.

Totes aquestes bases de dades han proporcionat una gran quantitat d'informació de gruixos de materials quaternaris i neògens. Cadascun dels sondatges ha estat representat en el mapa de sondatges i s'han classificat segons les condicions geomècàniques EC-8. Certs sondatges presenten dades incomplides ja que la profunditat és menor al gruix del dipòsit quaternari, de manera que no es possible conèixer el seu gruix real. En els casos on la informació dels sondejos presenta discrepàncies amb la informació bibliogràfica s'ha decidit donar una major fiabilitat a la bibliografia.

2 Descripció dels dipòsits quaternaris

2.1 Dipòsits glacials

Inclou els epígrafs següents del mapa geològic i del mapa de quaternari 1:400.000: q2b (morenes), 6 (morenes de l'estadi principal), 7 (dipòsits glacials antics), 9 (recobriments morènics discontinus), 11 (dipòsits fluvio-lacustres d'obturació lateral), 12 (morenes d'altitud de la fase de disjunció), 13 (recobriments morènics discontinus, morenes de fons) i 16 (sistema morènic de circs i glacials rocosos).

El Pirineu mostra una important presència ja molt residual de dinàmica glacial. Al llarg del quaternari es van instal·lar glaceres de vall al Pirineu aprofitant les valls fluvials preexistents produint un eixamplament del fons de vall i un redreçament dels vessants. A les capçaleres s'hi van modelar importants circs glacials, on es van produir, en alguns casos sobre-excavacions importants. Cal destacar també, com a efecte morfogenètic d'aquest període, la sedimentació sobre els vessants i els fons de vall de materials glacials, i també glaciofluvials i glaciolacustres en algunes ocasions (Vilaplana, 1983).

En aquest treballs els dipòsits glacials quaternaris s'han classificat en funció del seu procés genètic i la seva situació. D'aquesta forma s'ha diferenciat, *i*) Cubetes glaciolacustres, *ii)* Complexes glaciolacustres, *iii)* Tills i *iv)* Glaceres rocalloses

2.1.1 Cubetes de sobreexcavació glacial

L'acció erosiva de les glaceres quaternàries ha modelat importants cubetes de sobre-excavació que van actuar como ambients glacio-lacustres després del retrocés de les glaceres fins el rebliment total de les cubetes. Van donar lloc a amplies valls de fons pla creuades per cursos fluvials. En aquestes planes de les valls pirinenques s'ha assentat poblacions i conreus. Les prospeccions geofísiques realitzades a les grans valls glacials del marge sud-pirenaic i també sud-cantàbric han demostrat l'existència de cubetes de sobreexcavació modelades pel gel, que es van omplir de sediments d'origen glacial, lacustre i fluvial (Turu et al., en premsa), que es caracteritzen per presentar acumulacions de sediments importants.

Les principals cubetes de les quals s'ha trobat informació són:

- Cubeta d'Esterri d'Aneu
- Cubeta de Benasque
- Cubeta de Bono
- Cubeta del seminari de Vilaller
- Cubeta del Valle de Tena
- Cubeta de Barruera

2.1.1.1 Cubeta d'Esterri d'Àneu

La cubeta d'Esterri d'Àneu es troba en el punt d'unió de diferents valls laterals que estaven ocupades per potents llengües glaciars (confluència de la gelera principal de la Noguera Pallaresa amb les geleres de la Bonaigua i d'Unarre). Té una morfologia allargassada, amb 6,5 km de longitud i una amplada màxima d'1,5 km (zona d'Escalarre).

La profunditat del contacte entre els materials quaternaris i els substrat rocós paleozoic no és constant sinó que presenta el seu màxim a la zona central de la cubeta i va decreixent cap als laterals (Figura 8).

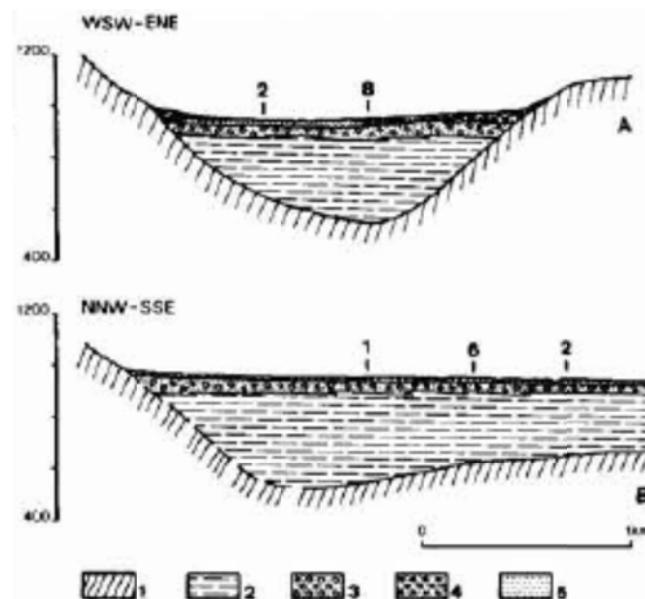


Figura 8. Perfil geoelèctrics transversal i longitudinal de la cubeta d'Esterri d'Àneu. Llegenda:

1. Substrat rocós paleozoic resistent; 2. Ritmites glacio-lacustres amb resistivitats inferiors a 90 Ωm; 3. Dipòsits fluvio-deltaics amb resistivitats compreses entre 400 i 600 Ωm; 4. Cons de dejecció subactuals amb resistivitats superiors a 1000 Ωm; 5. Dipòsits al·luvials subactuals amb resistivitats molt variables.

La cubeta d'Esterri d'Àneu presenta un gruix màxim del material quaternari a la zona central d'uns **400 m**. Segons la resistivitat elèctrica es poden determinar tres unitats. La unitat inferior, que reposa sobre el substrat rocós, amb un gruix màxim de 340 m, formada per dipòsits glaciolacustres lutítics amb resistivitats baixes, per sobre d'aquesta una unitat mitja amb resistivitats d'entre 400 i 600 Ωm constituïda per sediments fluviodeltaics que poden arribar fins als **100 m** de potència i finalment una unitat superior, aflorant en superfície, formada per graves i sorres dels dipòsits al·luvials que presenta una resistivitat màxima (Bordonau *et al.*, 1989).

2.1.1.2 Cubeta del Valle de Tena

Aquesta cubeta es troba a la vall del riu Gállego (entre Biescas i Senagüé). La unitat inferior només apareix entre Oliván i Biescas i presenta una resistivitat compresa entre 43 i 80 Ωm (segurament llims i argiles). La unitat intermèdia mostra canvis laterals de resistivitat, deguts, probablement, a variacions en la granulometria (600-145 Ωm). La unitat superior està formada per sediments recents de ventalls al·luvials i dipòsits fluvials

post-glacials (Turu *et al.*, 2007) (Figura 9). La potència màxima dels dipòsits quaternaris de la cubeta de Tena assoleix un valor màxim d'uns **100 m** entre Orós Bajo y Oliván.

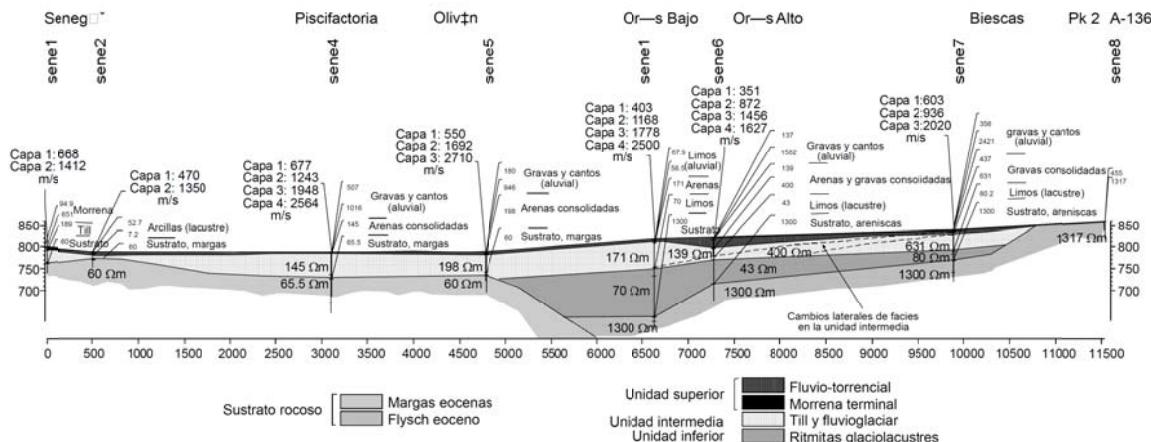


Figura 9. Tall geològic de la cubeta de la vall de Tena i unitats isoresistives (Turu *et al.*, 2007).

2.1.1.3 Cubeta de Benasc

La cubeta de Benasc, creuada pel riu Ésera, té una longitud màxima de 4,5 km i una amplada variable, que assoleix un màxim d'1 km a la transversal de Benasc. L'alçada a la que es troba la cubeta va dels 1.140 m a Benasc fins els 1.080 m a l'estret de Linsoles. S'hi han diferenciat tres unitats geoelèctriques: una inferior amb resistivitats baixes (potència màxima de **250 m**), una unitat intermèdia amb resistivitats mitjanes (potència de **10-70 m**) i una unitat superior amb resistivitats elevades (potència entre **2 i 15 m**). (Figura 10).

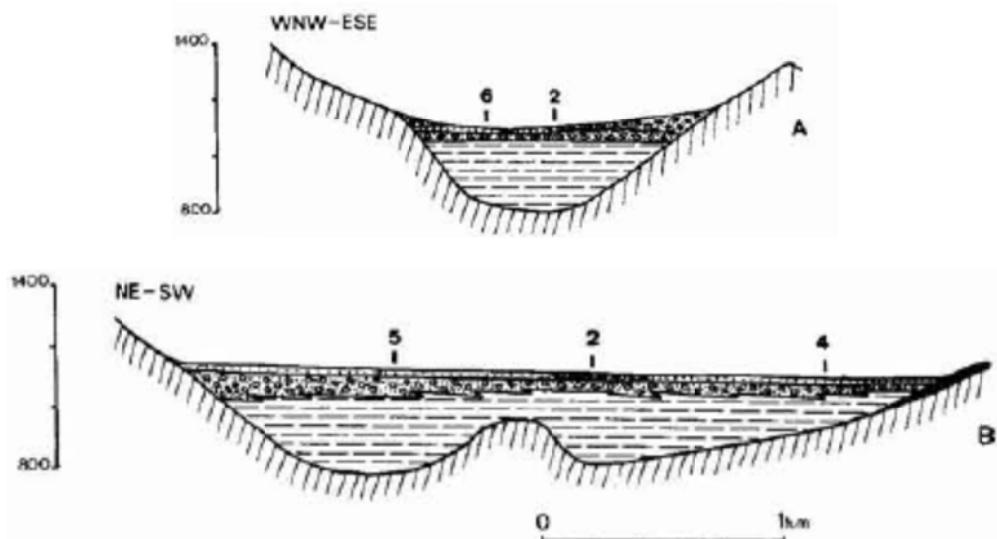


Figura 10. Tall geològic de la cubeta de sobreexcavació glacial de Benasque. Llegenda: 1, Substrat paleozoic; 2, Till; 3, Argiles glaciolacustres; 4, Dipòsits fluviodeltaics; 5, Cons de dejecció subactuals; 6, Dipòsits al·luvials subactuals (Bordonau *et al.*, 1989) i Bordonau, 1992, pàg. 149).

2.1.1.4 Cubeta de Bono

La cubeta de Bono, que es troba al riu Noguera Ribagorçana, es tracta d'una depressió de fons pla de 5 km de longitud i 600 m d'amplada, situada entre els 1.000 i els 1.100 m d'alçada, i que ocupa un segment de l'alt Noguera Ribagorçana, limitada al nord per l'estret de Senet i al sud pel llindar de Forcat. Presenta una profunditat de **200 m**, segons l'anàlisi de dades geoelèctriques (Vilaplana i Casas, 1983). Els materials sedimentaris que configuren el fons pla de la cubeta són quaternaris (Figura 11).

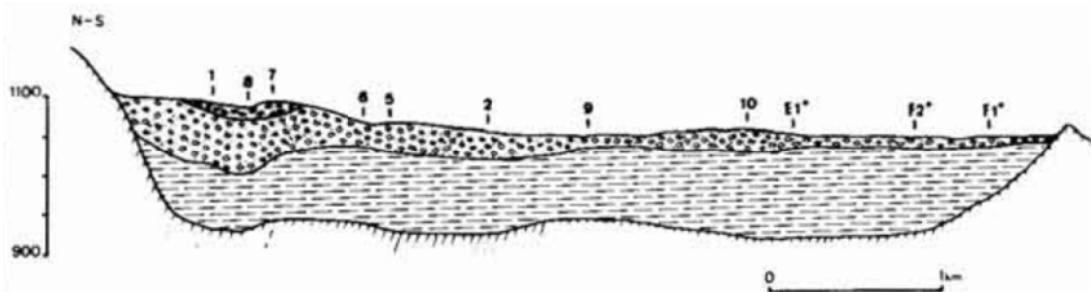


Figura 11. Tall geològic de la cubeta de sobreexcavació glacial de Bono (vall de la Noguera Ribagorçana). Llegenda: 1, Substrat paleozoic; 2, Argiles glaciolacustres; 3, Dipòsits fluviodeltaics i dipòsits al·luvials subactuals; 4, Dipòsits fluviotorrenciais subactuals (Bordonau *et al.*, 1989 i Bordonau, 1992, pàg. 140).

2.1.1.5 Cubeta de Barruera

La cubeta de Barruera, situada al SE del poble de Barruera, a la vall de la Noguera de Tor (Figura 12), presenta una configuració en forma de corredor amb més de 5 km de longitud i uns 800 m d'amplada, amb vessants molt verticals i un fons pla. Morfològicament es tracta d'una artesa glacial omplerta per sediments que han configurat una topografia plana de fons i una degradació parcial dels vessants que ens indica una lleugera tendència a la regularització (Vilaplana *et al.*, 1983).



Figura 12. Plànol de situació de la cubeta de Barruera (Vilaplana *et al.*, 1983).

Els sediments quaternaris que reposen sobre el substrat rocós assoleixen una potència màxima a la zona central de la cubeta de **158 m**. Aigües amunt, la profunditat de la cubeta disminueix, assolint gruixos d'uns **60 m** (Bordonau *et al.*, 1989) (Figura 13).

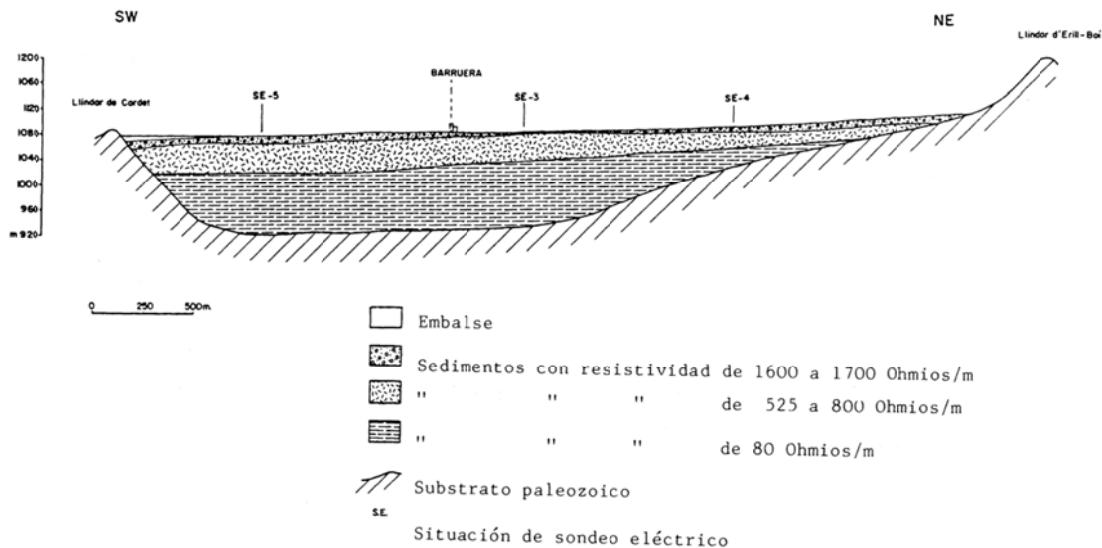


Figura 13. Perfil geoelèctric longitudinal de la cubeta de Barruera (Vilaplana *et al.*, 1983).

2.1.2 Cubetes de sobre-excavació de formació proglacial

Aquests ambients lacustres quaternaris del Pirineu s'han format degut a l'obturació frontal i lateral de les valls pels materials morènics depositats per les llengües glacials. En profunditat, trobem dipòsits glaciolacustres que indiquen l'existència d'antics llacs proglacials originats en el retrocés del glacier.

2.1.2.1 Cubeta del seminari de Vilaller

A 1 km al nord de la població de Vilaller, a la vall del Noguera Ribagorçana, es troba el complex glacial terminal del seminari de Vilaller, conservant la morfologia d'un arc morènic (Vilaplana, 1983). Es tracta d'una ambient lacustre proglacial degut a un tancament morènic. El substrat rocós paleozoic es troba a un a profunditat variable d'entre **32-38 m**. Aquests materials poden dividir-se en 3 unitats, segons la seva resistivitat geoelèctrica (Figura 14). Sobre el substrat i amb una potència aproximada d'entre **19 i 23 m**, es disposen ritmites glaciolacustres lutítiques amb resistivitats baixes. Per sobre d'aquestes, una unitat amb resistivitats altes ($200 \Omega\text{m}$) de dipòsits fluviodeltaics, sorres, llims i graves amb un gruix de **6 a 9 m**. Finalment, una unitat superior amb resistivitats mitjanes, constituïda per dipòsits al·luvials subactuals, sorres fines i llims, procedents del riu Noguera Ribagorçana i amb gruixos molt variables (Bordonau *et al.*, 1989) (Figura 14).

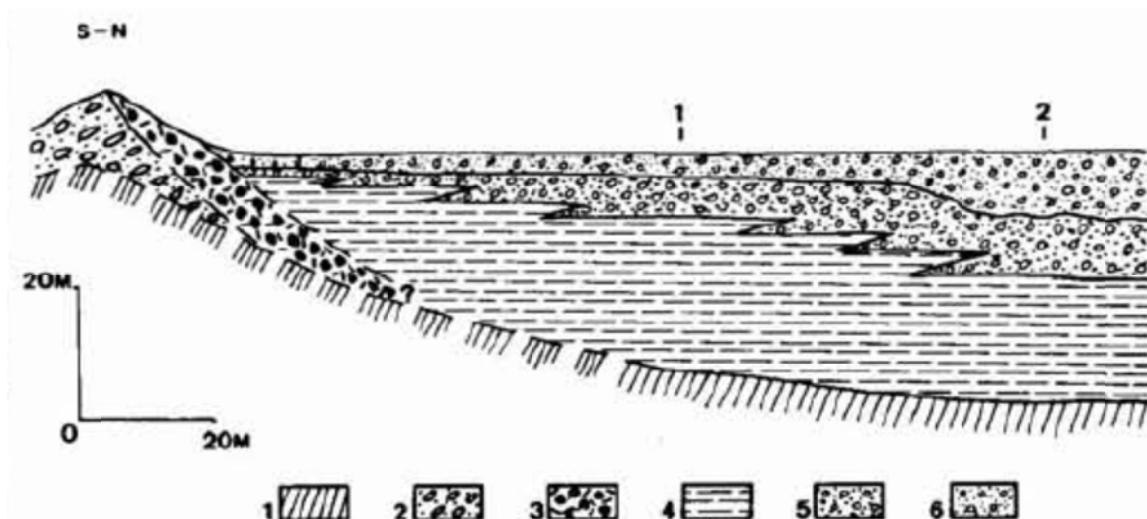


Figura 14. Perfil geoelèctric longitudinal de la cubeta proglacial del seminari de Vilaller (Noguera Ribagorçana). Llegenda: 1, Substrat paleozoic; 2 till supra-glacial; 3, till glacial; 4, argiles glaciolacustres amb resistivitats inferiors a $100\Omega\text{m}$; 5, dipòsits fluvio-deltaics amb resistivitat $200\Omega\text{m}$; 6 Dipòsits al·luvials subactuals amb resistivitats de $100\Omega\text{m}$.

2.1.3 Cubetes de sobre-excavació de formació juxtaglacial

Igual que les cubetes de formació proglacial, les de formació juxtaglacial també estan associades a obturacions morèniques. En aquest cas l'obturació es troba a les valls tributàries i és deguda a la llengua glacial de la vall principal (Serrat *et al.*, 1983).

2.1.3.1 *Cubeta de Taüll*

La llengua de la glacera de la Noguera de Tor va obturar les valls de Boí i de Ginebrell donant lloc a una cubeta d'ambient lacustre de marge glacial (Vilaplana, 1983). Aquesta cubeta, situada als voltants de la població de Taüll, té una estructura similar a les cubetes anteriors, amb materials quaternaris sobre substrat paleozoic que presenten una potència màxima a la zona central de la cubeta superior als **50 m**, i gruixos menors, d'uns **10 m**, cap als laterals.

Els sondatges han permès delimitar tres unitats segons la seva resistivitat geoelèctrica. Així doncs, trobem una unitat inferior que reposa directament sobre el substrat rocós formada per sediments glaciolacustres amb resistivitats baixes, de l'ordre dels $100\Omega\text{m}$, les interestratificacions d'aquests sediments glaciolacustres amb tills, demostra la dinàmica pròpia d'un ambient juxtaglacial, sotmesos a bruscs canvis en el règim sedimentari. Sobre aquesta unitat inferior, trobem dipòsits fluviodeltaics amb resistivitats superiors als $3.000\Omega\text{m}$ i finalment una unitat superior, formada per dipòsits de vessant, amb resistivitats superiors als $500\Omega\text{m}$ (Vilaplana, 1983).

2.1.4 Cubetes de formació per fracturació del substrat rocós

Els processos de fracturació del substrat rocós degut a l'expansió dels vessants, després de la retirada dels glaciars quaternaris (Bordonau, 1985 i Bordonau i Vilaplana, 1986),

van conduir a l'aparició de replans i cubetes endorreiques que generalment es troben ocupades per llacunes o torberes.

2.1.4.1 Llacuna de les basses d'Ules

Situada a la Vall d'Aran, aquesta cubeta està ocupada per una torbera, és a dir, per una roca sedimentària carbonosa formada en un ambient sedimentari recent. La cubeta presenta una potència de sediment quaternari molt inferior a les de formació glacial, assolint en la seva part central un màxim de **5 m**. Sobre el substrat rocós paleozoic, es localitza una unitat inferior d'argiles lacustres amb resistivitats baixes d'entre 30 i 40 Ωm i un gruix del voltant dels **4 m**. La baixa resistivitat d'aquests sediments d'origen lacustre demostra el seu caràcter argilós, corresponent a una sedimentació per decantació deslligada de les aigües de fusió glacial (Bordonau *et al.*, 1989). Aquesta unitat està recoberta, al centre de la cubeta, per torbes amb una potència de poc més d'**1 m** i amb resistivitats de l'ordre dels 200 Ωm , i als marges, per dipòsits de vessant (Serrat *et al.*, 1987) (Figura 15).

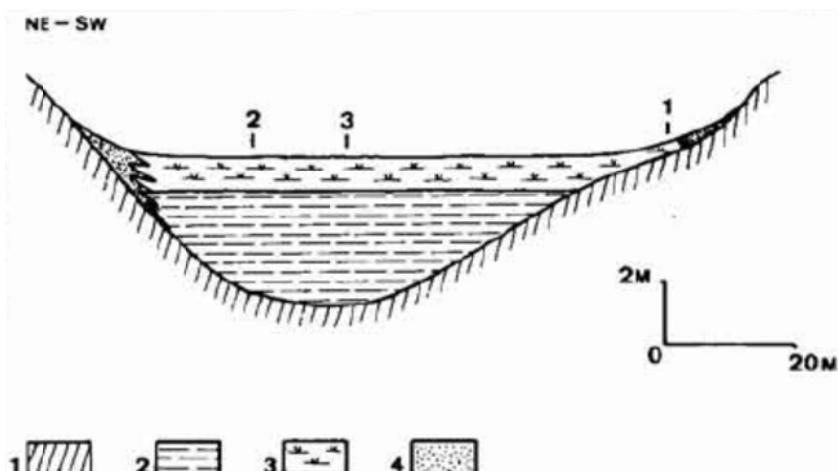


Figura 15. Perfil geoelèctric de la llacuna de les basses d'Ules (Vall de Garona). Llegenda: 1, Substrat paleozoic amb resistivitats superiors a 700 Ωm ; 2, Argiles lacustres amb resistivitats inferiors a 45 Ωm ; 3, Torba subactual amb resistivitats de l'ordre de 200 Ωm ; 4: Dipòsits de vessant subactuals.

2.1.5 Complexes glaciolacustres

Al Pirineu és freqüent l'existència de dipòsits lacustres juxtaglacials deguts a l'obturació de les valls tributaries per la llengua glacial de la vall principal (Serrat *et al.*, 1983).

2.1.5.1 *Complex juxtaglacial de Cerler*

El complex juxtaglacial de Cerler es forma com a conseqüència de la obstrucció del drenatge de les petites conques glacials de Remáscaro i d'Ampriu per part de la glacera de l'Ésera. Es poden diferenciar tres unitats: la unitat inferior i intermèdia formades per ritmites, graves, sorres i tills, i la unitat superior només per tills. Tot el complex presenta una potència aproximada de **100 m**, ja que el cordó morrènic representat a la unitat intermèdia no es conserva actualment (Bordonau, 1992).

2.1.5.2 *Els "Ibones Azules"*

A Panticosa, al nord-est de Biescas, es troba la seqüència glacial dels "Ibones Azules" on s'observen una sèrie de planes proglacials que poden arribar a tenir una profunditat aproximada de **100 m**.

2.1.5.3 *Dipòsits lacustres de Llauset (juxtaglacials)*

La vall de Llauset està situada al marge dret del Noguera Ribagorçana, just al límit sud del batòlit de la Maladeta amb la unitat de la Serra Negra. Aquesta vall presenta un important volum de sediments d'edat pleistocena i holocena, d'origen glacial, lacustre, fluvial, torrencial i col·luvial en forma de cubeta (Figura 16). La potència d'aquests sediments són a l'entorn dels **16 m**, en la zona ocupada per la presa de Llauset, i de fins a **32 m** (Taula 4).

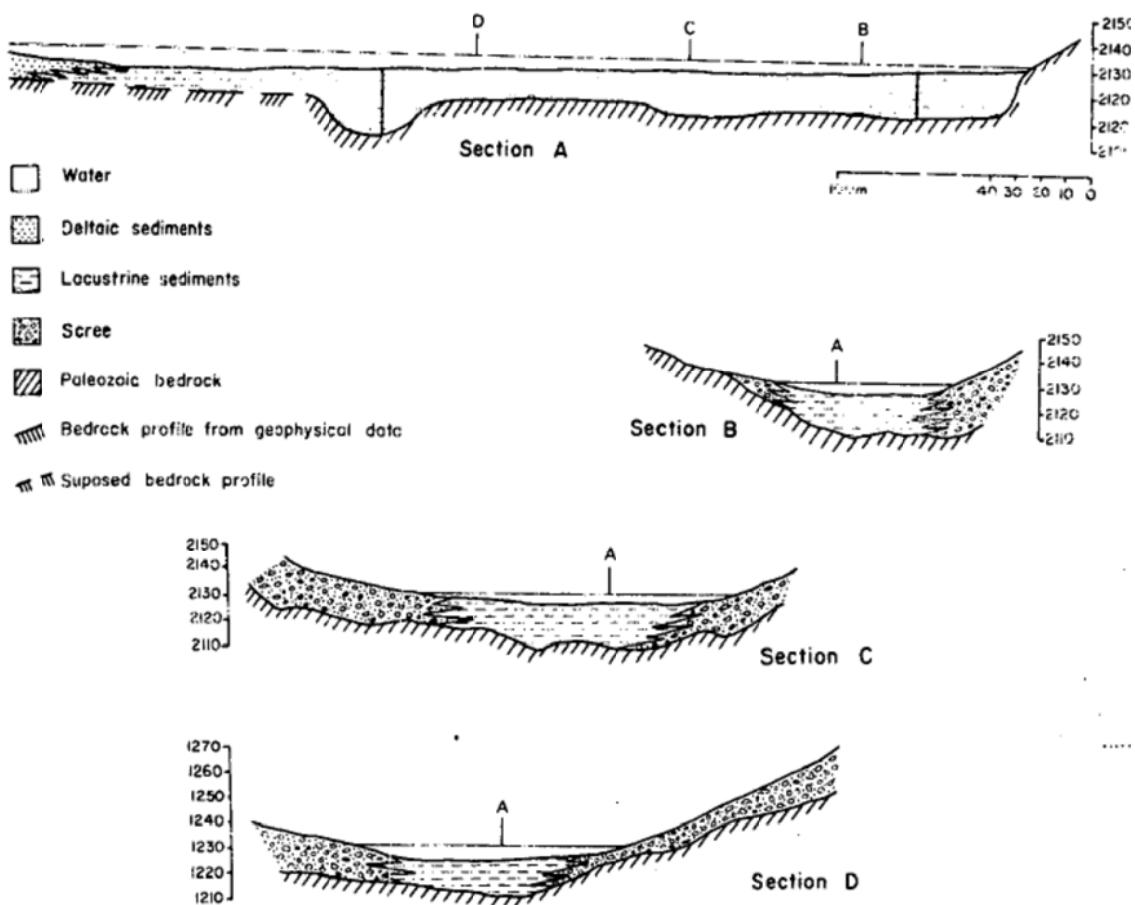


Figura 16. Talls geològics del la cubeta lacustre de Llauset (Vilaplana *et al.*, 1983).

Taula 4. Informació del gruix de la cubeta a partir de dades sísmiques i sondeigs (Vilaplana, 1982).

Cota substrat	Profunditat substrat (m)	Potència sediments (m)	Origen dades
2.098,5	33,5	26	Sísmica
2.109	23	18	
2.109,5	22,5	18,5	
2.112,5	19,5	14	
2.110,78	21,22	16,22	Sondeigs
2.114	18	14,5	
2.100,89	>31,11	>27,11	
2.092,90	39,2	32,5	
2.109,45	22,45	16,05	

2.1.5.4 Complex de Llestui

A la vall de Llauset també es localitzen sediments d'ambient lacustre juxtaglacial depositats pel tancament morènic de Llestui. Aquests dipòsits presenten una potència d'entre **35 i 90 m** (Vilaplana, 1982) (Figura 17).

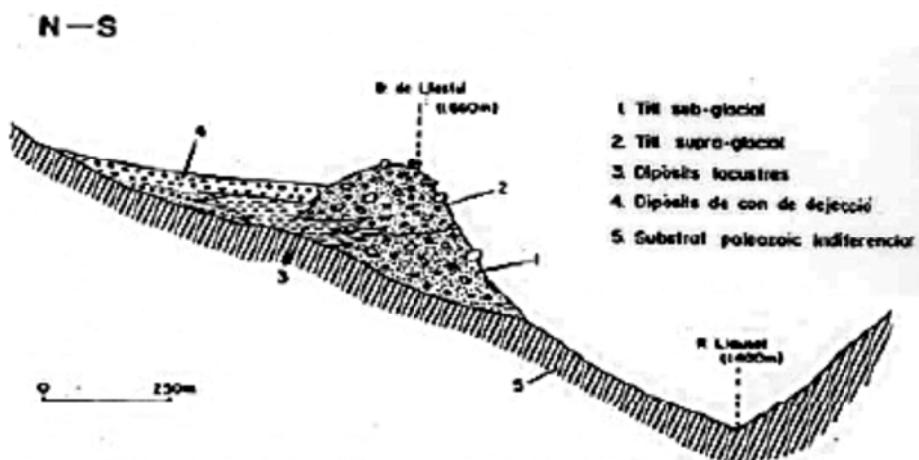


Figura 17. Tall geomorfològic del complex glacio-lacustre juxtaglacial de Llestui mostrant la unitat glacial (1 i 2), la unitat glacio-lacustre central (3) i la unitat al·luvial (4) (Vilaplana, 1983).

2.1.5.5 Linás de Broto

Linás de Broto està situat en el municipi de Torla prop de la capçalera del barranc Sorosal, a la conca del riu Ara. En aquest sector, degut al tancament morènic, es localitzen petites cubetes de sobreexcavació d'ambient lacustre juxtaglacial, ocupades per dolines i limitades per llindars rocosos amb el rocam llavorat pels glaços. Es poden distingir quatre cubetes situades a diferents altituds que se succeeixen al llarg del circ de la canal de les Estanyeres:

1. a 2460 m (ocupada fins ben entrat l'estiu per un «pou de neu»)
2. a 2373 m (60 m de diàmetre i uns **15 m** de fondària)
3. a 2.304 m (ocupada per tres petites dolines)
4. a 2.100 m

2.1.5.6 Barranc d'Arrose

El barranc d'Arrose es troba delimitat pels cursos fluvials del riu de Cabanes i el riu de la Bonaigua i a prop de la cubeta d'Esterri d'Àneu, on la Noguera Pallaresa recull les aigües de la xarxa de drenatge configurada pel riu de la Bonaigua abans esmentat i el riu de Son.

En aquest barranc es localitzen dipòsits relacionats amb el glacialisme amb una potència màxima d'uns **7 m**. S'interpreten com a dipòsits de vessant d'origen periglacial situats en un context de marge juxtaglacial (Ventura Roca, 2010).

2.1.5.7 *Planes de Son*

Les Planes de Son situat al marge dret de la Noguera Pallaresa a l'alçada d'Esterri d'Àneu destaquen per la presència de materials d'origen glacial formant replans i terrasses juxtaglacials. Es produeix una incorporació de blocs i còdols glacials als reblerts de vessant provinents de les mateixes morenes un cop ha retrocedit el gel. Presenten una potència variable d'entre **0.5 i 3.0 m** i creixen de gruix cap a les zones basals dels vessants. Es diferencien les següents unitats quaternàries:

- Morena de Son-Casterasso (1.320 m) i morena del complex sedimentari de Son, situades aigües avall del nucli urbà de Son, presenten una potència superior als **35 m**.
- Els dipòsits glaciolacustres del centre de la cubeta. Els sediments glaciolacustres a la base i glaciofluvials a sostre, assoleixen un gruix d'uns **40-45 m** a la part central de la cubeta.
- Unitat de dipòsits col·luvials que recobreixen les irregularitats del substrat. Presenten un gruix molt variable que oscil·la entre els 30 cm i els **2 m** (Figura 18).

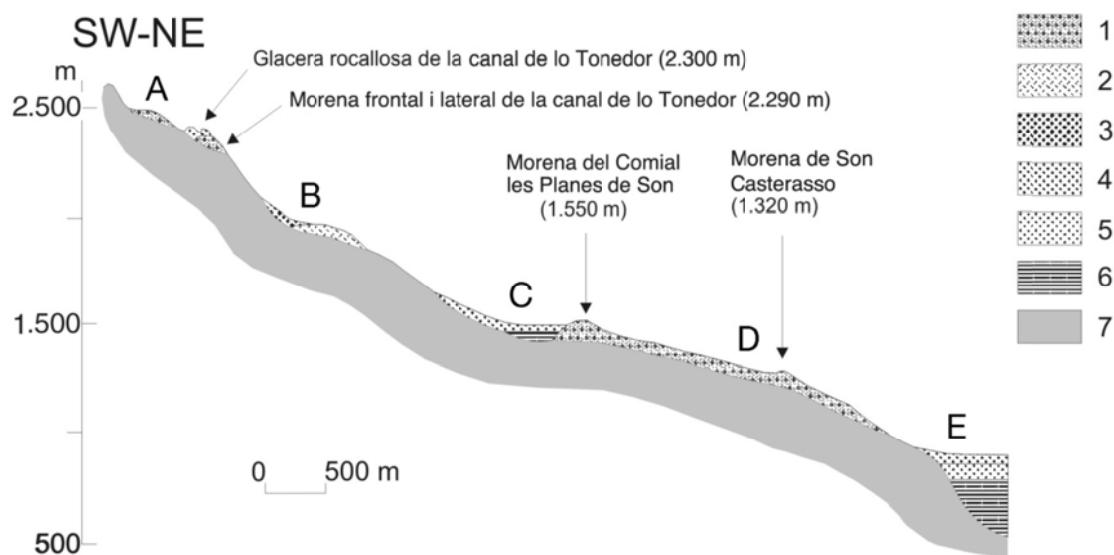


Figura 18: Perfil longitudinal (W-E) de la Vall de Son. A: Circ de la canal de lo Tenedor; B: Campolado; C: les Planes de Son; D: Son; E: Esterri d'Àneu. 1: Tills glacials; 2: Dipòsits periglacials amb blocs d'origen glacial; 3: morenes de glacera rocallosa; 4: Con de dejecció (fluviotorrencial o fluviglacial); 5: dipòsits fluviodeltaics; 6: dipòsits glaciolacustres i 7: substrat rocós (Ventura Roca, 2010)

2.1.6 Cordons morènics (tills i glaceres rocalloses)

Els cordons morènics es corresponen a les morenes laterals abandonades. Aquests tipus de dipòsits són molt habituals a tot el Pirineu. Com a principal exemple, al marge esquerre del riu Gállego penjat sobre la resta morènica d'Aurín, es conserva una alineació de cordons complexes, que per la seva localització i morfologia es consideren

d'origen glacial i necessàriament pertanyen a una etapa anterior a la Fase Aurín. Un altre exemple és la terrassa fluvioglacial de l'Hostal de Ipiés, al sud de Sabiñánigo, que presenta un gruix d'uns **8-9 m**. A Arguisal (sud de Biescas), també s'observa un gran "slump" d'uns 70 m de potència, aproximadament.

Les glaceres rocalloses són de reduïdes dimensions i les més representatives són les que es localitzen als circs i les de morfologia lobulada (76% a Panticosa i 57% a la Maladeta). Les glaceres rocalloses de llengua són menys freqüents, però de majors dimensions i ocupen els fons dels circs. A l'àrea de Panticosa i Posets, algunes llengües superen els 500 m de longitud i tenen gruixos d'entre **10 i 20 m** (Taula 5). Genèticament, dominen les glaceres rocalloses de talús respecte als glaciogenètics, el que dóna importància al medi periglacial en l'origen de les glaceres rocalloses pirenaiques.

Taula 5. Taula que representa característiques de diverses glaceres rocalloses del Pirineu aragonès. AR; Argualas, GE: Gemelos, BE: Bessiberri, BA Bastampé, GU, Guerreys. Serrano *et al.* (2004)

Glaciari rocós	AR	GE	BE	BA	GU
Altitud del front (m.s.n.m.)	2.590	2.850	2.620	2.580	2.590
Gruix estimat	14	15	20	20	10
Superfície x103m ²	157.8	50.6	156.8	93.7	66.8
Volum d'esbaldregalls x103m ³ V30	1.100	379.6	1568.7	937.5	334
Volum d'esbaldregalls x103m ³ V50	724	250.9	1035.3	618.7	220.6

2.1.6.1 La vall de Cabanes

La vall de Cabanes, que conflueix amb la vall de la Bonaigua, es localitzen, al fons de la vall, un conjunt de morenes i tills que formen un cordó morènic amb un gruix mínim de **5 m** (Ventura Roca, 2010).

2.1.6.2 El complex plan d'Estaro - planell de Breviari

A banda i banda de la divisòria d'aigües entre les valls de Cabanes i de Son se situen extensos dipòsits glacials. Els dipòsits que formen les morenes del plan d'Estaro, més concretament al replà morènic prop del Pas del Coro, es calcula que presenten una potència d'entre **2 i 3 m**. En uns talls oberts a la pista forestal (1.870-1.890 m) es pot observar un gruix mínim de **2 m** (Ventura Roca, 2010).

2.1.6.3 Zona del Cadí

La serra del Cadí, situada entre les comarques de l'Alt Urgell, la Cerdanya i el Berguedà, s'estén d'oest a est al llarg de 40 quilòmetres. Els dipòsits quaternaris d'origen glacial presents a la zona reposen sobre un substrat alterat i presenten un gruix mig d'uns **3 m**. Mentre que els d'origen periglacial, formats per graves i blocs de fins a 40 cm, tenen una potència de fins a **10 m** (Clotet, *et al.*).

2.2 Dipòsits fluvials, al·luvials i col·luvials

Els dipòsits fluvials, al·luvials i col·luvials inclouen els epígrafs següents del 'mapa geològic' i el 'mapa de quaternari' 1:400.000: q3a (Dipòsits actuals de rius), q3c (dipòsits fluvio-marins lagunars), q1 (sorres, gravetes, conglomerats i argiles), 11 (dipòsits fluvio-lacustres d'obturació lateral), 17 (T5, terrassa més alta colmatant), 18 (T4, terrasses altes profundament alterades), 20 (T3, terrasses mitjanes profundament alterades), 21 (T2, terrassa baixa mitjanament alterada), 23 (T1, terrassa baixa poc o sense alterar), 25 (llits majors actius i planes al·luvials holocenes, fons de vall), 47 (al·luvial-col·luvial, plistocè superior – holocè), 48 (dipòsits lacustres).

Els dipòsits col·luvials inclouen els epígrafs següents del mapa geològic i el mapa de quaternari 1:400.000: 15 (vessants regulats per col·luvions sobre morenes), 19 (glacis alts correlatius amb les terrasses altes), 27 (cons i cordons de derrubis holocens), 40 (grans solifluxions), 46 (glacis baixos correlatius a les terrasses baixes), 47 (al·luvial-col·luvial, plistocè superior – holocè).

La seqüència morfosedimentària al·luvial registrada en el sector sud del Pirineu, entre les serres marginals i la depressió de l'Ebre, s'ha d'emmarcar en un context d'encaixament fluvial generalitzat durant tot el Quaternari i és el resultat de la interacció entre l'aixecament post-orogènic isostàtic de la cadena pirenaica i els intensos canvis climàtics regionals (Sancho *et al.*, 2004).

En el sector del Somontano d'Osca, per exemple, únicament el nivell de terrasses 6 (T6) queda per sobre dels relleus estructurals miocens, indicant que amb posterioritat a aquest nivell es produeix l'encaixament successiu en el substrat fins a aconseguir el seu confinament actual. El nivell amb més desenvolupament transversal és el T4, fent progressivament menor cap als nivells inferiors.

Els col·luvials estan formats fonamentalment per materials detritics interpretats com un producte de la activitat de ventalls al·luvials. Sovint es difícil relacionar el nivells de glacis amb les terrasses fluvials de forma lateral ja que es troben disconnectats. Un primer intent de correlació dels nivells al·luvials del peu demont sud-pirinenç ha estat duta a terme per Alberto *et. al.* (1983). Aquests autors consideren els nivells més alts com acumulacions plioquaternaries, denominació ja utilitzada per Peña (1983) en el peu demont de Lleida.

2.2.1 Dipòsits del sector Navarro-aragonès

2.2.1.1 *Conca del riu Gállego*

En el curs del riu Gállego des del Pirineu axial fins a l'Ebre, es poden distingir clarament dos trams. El primer tram comprèn des del seu naixement fins a l'embassament de La Pefia, i la seva evolució quaternària estaria dirigida per les variacions de les glaceres que per la vall de Tena arriben fins Senegüé. El segon, arriba fins a la confluència amb l'Ebre, després de travessar les Serres Exteriors i bona part del sector més sec de la Depressió.

En el sector final del primer tram, més concretament entre Sabiñánigo i l'Hostal de Ipiés es troben acumulacions fluvioglacials importants (Peña et al., 2003 i 2004). En el segon tram, a la depressió de La Peña, localitzada a l'interior de les Serres Exteriors, les terrasses tendeixen a convergir altimètricament entre elles amb un dèbil grau d'encaixament respecte el cabal actual (Peña et al., 2004). Després de superar la barrera de les Serres Exteriors es desenvolupa un ampli sistema de 10 terrasses esglaonades de tipus *cut-in-bedrock* o *strath terraces* fins Gurrea de Gállego (Benito, 1980).

Les acumulacions d'origen fluvial més importants es localitzen a la Val Ancha (a l'àrea de Sabiñánigo), on s'estén un ampli recobriment de nivells de glacis i terrasses fluvials de les conques del riu Aragón i Gállego.

2.2.1.2 *Conca del riu Cinca*

La vall del riu Cinca té un desenvolupament longitudinal que supera els 170 km. Presenta registres en forma de terrasses esglaonades de tipus *cut-in-bedrock* / *strath terraces* (Sancho 1985) al llarg de tota la conca. En el sector de l'anticlinal de Barbastro s'han desenvolupat vuit nivells de terrasses localitzades a diferents alçades respecte la llera actual. Aquests nivells de terrasses poden assolir una potència de fins **4 m** (Sancho, 1989).

2.2.1.3 *Conca del riu Ara*

El riu Ara neix, entre glaceres, a la cara sud del massís del Vignemale, situat a 3.298 m. La seva conca alta es troba al límit del Parc nacional d'Ordesa i Monte Perdido i es tracta d'un clar exemple de vall glacial. El riu Ara desemboca al riu Cinca a l'alçada d'Aínsa. Al riu Ara es distingeixen sis nivells de terrasses; els més alts corresponen als perfils de Aínsa, Boltaña, Jánovas i Fiscal trobant-se entre 55-65 m i 35-40 m. El segon conjunt de terrasses es localitza entre 20-23 m i 5- 18 m i per últim els nivells més baixos es troben a 8-10 m i 4-6 m sobre el cabal actual del riu. Aquest últim només es troba representat a les rodalies d'Aínsa. Les potències màximes de dipòsits quaternaris s'assoleixen a la capçalera del riu, amb gruixos superiors als **20 m** (Figura 19) (Rubio et al., 1996).

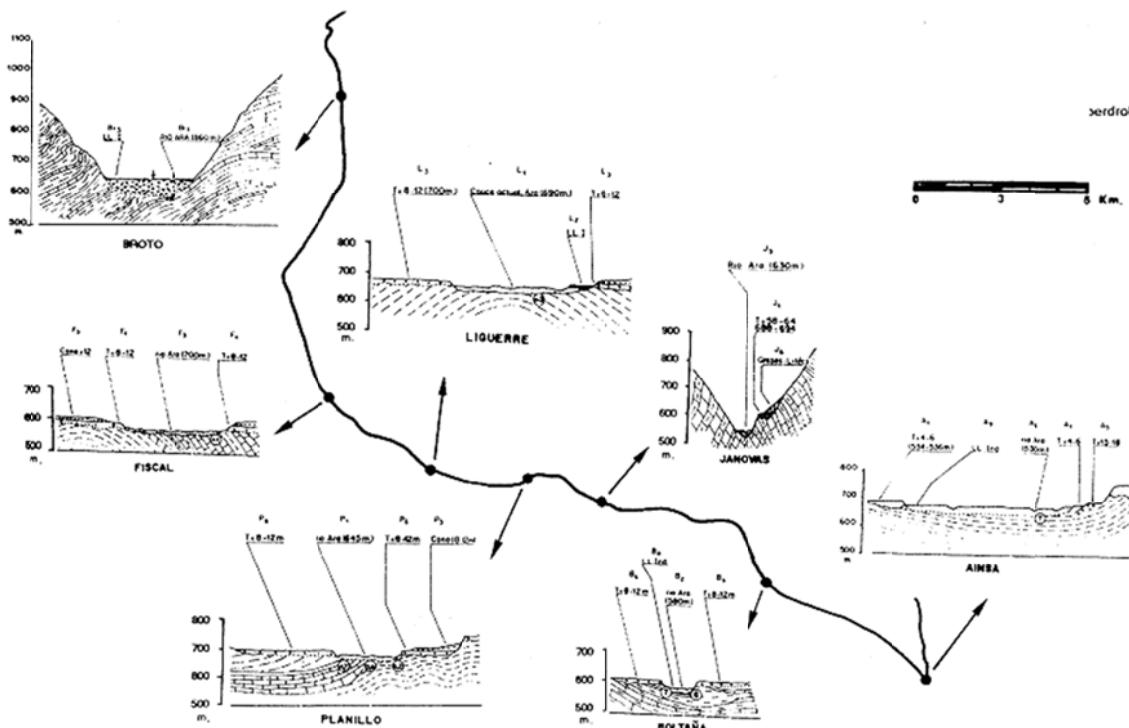


Figura 19. Seccions del riu Ara al llarg del seu recorregut (Rubio et al., 1995).

2.2.1.4 Conca del riu Flumen

El riu Flumen té una longitud de 120 km. Neix a la Sierra de Guara, que pertany al conjunt de les Sierras Exteriores Pirenaicas, encaixant-se en les calcàries i conglomerats formant profunds canons. Desemboca al riu Alcanadre, a prop de Albalatillo, per acabar al riu Cinca, que poc després desemboca a l'Ebre. El conjunt de dipòsits quaternaris cobreixen els gresos i les margues neògenes (Aquitanià) de la conca amb una potència d'entre **0,5 i 5 m**.

La terrassa més alta (T3) es troba a una cota de +98 m sobre el cabal actual del riu Flumen amb una potència de **3 a 4 m**. La terrassa mitja (T2) es troba a +78 m sobre el cabal actual del Flumen i els seus dipòsits tenen gruixos d'entre **2 i 4 m**. La terrassa inferior (T1) està formada per dos nivells esglaonats de terrassa a +9-10 m i a +4-6 m. El seu desenvolupament és relativament escàs, degut al fort encaixament de la xarxa fluvial, encara que als voltants de Huesca, assoleix amplies extensions (Rodríguez, 1981).

2.2.1.5 Conca del riu Esera

El riu Ésera neix a la cara nord del massís de la Maladeta i desemboca al riu Cinca. És un riu típic pirenaic, alimentat per la fusió de la glacera de l'Aneto i l'alta pluviometria de la capçalera. A la vall del riu Esera s'observen diversos nivells de terrasses. El nivell 1 se situa sobre margues alterades, amb un gruix d'entre **1,5 i 2 m**. El nivell 2 és el més potent de tots els nivells, amb un gruix que varia entre **3 i 5 m**, i presenta en algun cas crostes fines. El nivell 3 té un gruix d'entre **1,5 i 3 m**.

Associats a les terrasses es troben un seguit de dipòsits de peudemont en el sector de Conca de Campo distribuïts en 2 nivells. El nivell alt presenta un gruix que varia entre **3 i 6 m**, mentre que el nivell baix els gruixos varien de **1 a 5 m**. (Gimenez Brunet 1982).

2.2.1.6 Conca del riu Aragón

El riu Aragó neix en el circ glacial de la vall d'Astún i es nodreix a la capçalera pels ibons d'Escalar i Truites. Discorre de nord a sud per la vall de Canfranc fins a arribar a Jaca, on les seves aigües canvien d'orientació per dirigir-se cap a l'oest per la Canal de Berdún fins a terres navarreres. En el sector navarrès presenta un sistema ben desenvolupat de terrasses i glacis.

A l'extrem sud de la zona d'estudi, les terrasses tenen en general una potència de **3-5 m**, tot i que s'han observat valors superiors a **10 m** en les terrasses altes i mitges. Per altra banda, hi ha grans extensions de glacis de cons de dejecció de **2-8 m** de gruix situats als voltants de les terrasses del riu Aragón (Figura 20) (TECNA, 2002).

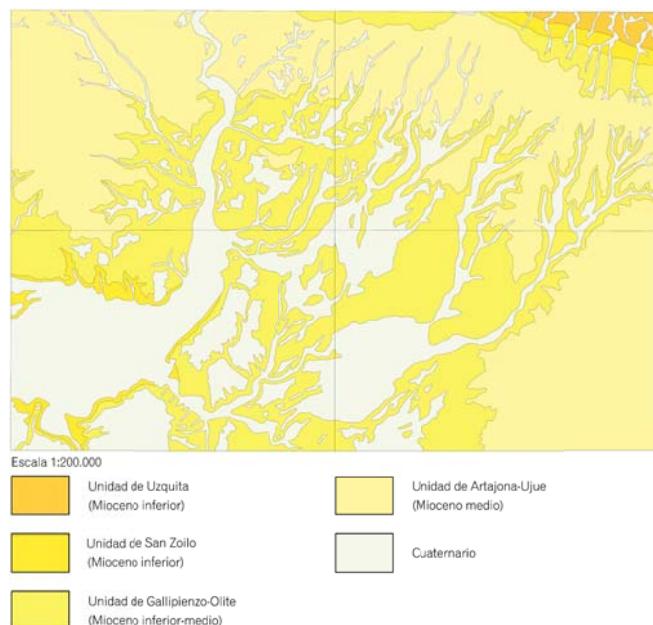


Figura 20. Esquema geològic del conjunt de terrasses i glacis del riu Aragón. Esquema geològic. Escala 1:200.000. INYPSA Gobierno de Navarra (Full 207).

2.2.1.7 Conca del riu Irati

El riu Irati neix de la confluència del rius Urtxuria i Urbeltza a la Selva de Irati i desemboca al riu Aragón després de 88 km de recorregut. Els dipòsits alluvials del riu Irati tenen uns gruixos que no superen els **5 m**, les terrasses baixes són les que presenten una major extensió amb uns 500 m d'amplada i una potència d'entre **3 i 4 m**. També existeixen glacis de cobertura amb un gruix menor (TECNA, 2002).

2.2.1.8 Conca del riu Arga

El riu Arga neix en el collado de Urquiaga localitzat en el massís paleozoic de Quinto Real, al nord de la vall d'Erro i desemboca al riu Aragón, a prop de Funes. Té una longitud de 145 km (Figura 21). A la zona de Pamplona s'observen terrasses extenses de **1-3 m** de gruix i glacis amb un gruix similar. Al sud de la conca, les terrasses baixes tenen grans extensions i gruixos de **3-4 m**, però es reconeixen valors superiors a **10 m** en terrasses altes. Al nord, en canvi, les terrasses no presenten grans extensions i tenen una potència inferior als **3 m**. També es veuen dipòsits de peudemont relacionats amb ventalls al·luvials antics de **6-8 m** de potència. Els glacis es troben al llarg de la conca i tenen gruixos de **2-3 m**. (TECNA, 2002).

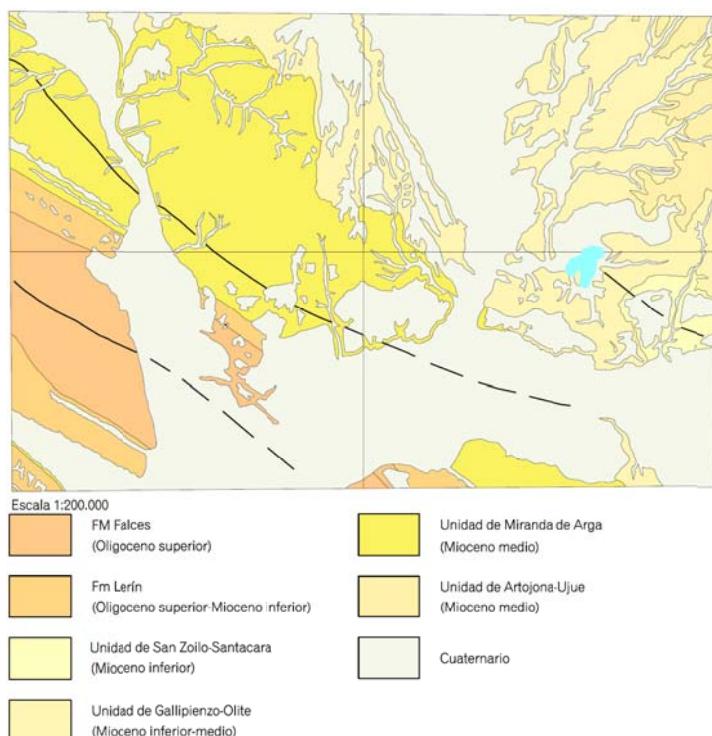


Figura 21. Esquema geològic de la desembocadura del riu Arga i Zidacos al Aragón. Esquema geològic Escala 1:200.000. INYPSA Gobierno de Navarra (Full 206).

2.2.1.9 Conca del riu Ega

El riu Ega, que té una longitud de 113 km, neix a Àlava, a prop de Lagrán, i desemboca a l'Ebre, a la localitat navarresa de San Adrián.

Les terrasses del riu Ega, des de la localitat d'Estella fins la desembocadura al riu Ebre, presenten 7 nivells (140-160 m, 95-110 m, 50-70 m, 35-45 m, 25-30 m, 10-15 m i la plana al·luvial a 2 m). Les terrasses solen tenir gruixos d'entre **2 i 8 m**, malgrat que al sud de la conca, les terrasses altes poden assolir gruixos superiors als **10 m**, mentre que les terrasses baixes poden arribar a superar els **25 m**, segons dades de sondejos de l'IGME (1977). (TECNA, 2002).

Per altra banda, hi ha diversos glacis esglaonats que baixen a la Serra de Montejurra i que enllacen amb els nivells de terrassa (2, 3, 4 i 5). Són dipòsits poc potents en general, d'entre **2 i 3 m**, com per exemple a Aberín i Morentin (Leránoz, 1990). A l'extrem sud-oest, els glacis tenen uns gruixos de **1 a 3 m** i els col·luvions de **0,5 a 1,5 m**.

2.2.1.10 Conca del riu Zidacos

El riu Zidacos neix a la serra d'Alaitz i desemboca al riu Aragón, a prop de Caparroso, amb una longitud total de 44 km. Les terrasses mitges i baixes del riu presenten unes grans extensions a la zona de la desembocadura amb el riu Aragón amb uns gruixos d'entre **4 i 6 m**. A les terrasses altes es reconeixen gruixos superiors als **10 m**.

Els glacis associats a les terrasses del riu presenten potències d'entre **2 i 4 m**. A la zona intermèdia entre les terrasses del riu Zidacos i del riu Aragón hi ha un fons endorreic (llacuna de Pitillas), format per argiles i llims, que tenen un gruix reduït (TECNA, 2002).

2.2.1.11 Conca del riu Belagua

El riu Belagua se situa a la vall de Belagua o Belagoa, a la zona nord de Navarra, fent frontera amb França i la província d'Osca. Es tracta d'una vall pirinenca amb una plana d'inundació fluvioglacial en la qual els gruixos no superen els **8 m** (TECNA, 2002).

2.2.1.12 Conca del riu Araquil

El riu Araquil és un afluent del riu Arga que neix en les proximitats de la localitat de Araya, a la província d'Àlaba, i desemboca a prop de la localitat navarresa de Ibero, travessant la vall de la Burunda. Desenvolupa dipòsits al·luvials i terrasses baixes amb potències superiors a **3 m** i alguns dipòsits de peudemont que també assoleixen potències superiors a **3 m** (TECNA, 2002).

2.2.1.13 Dipòsit d'origen col·luvial del Pirineu navarrès

Els dipòsits col·luvials són bastant abundants per tot el territori navarrès formant grans extensions amb gruixos d'entre **2 i 3 m**. A l'est de Navarra, prop de Sangüesa, s'observen extenses planes amb glacis d'acumulació al peu dels relleus amb gruixos que oscil·len entre **2 i 10 m**.

Al nord hi ha una sèrie de glacis de gran extensió, de cobertura i subactuals, en una zona coneguda com "Llanada de Burguete". Els glacis de cobertura són de caràcter conglomeràtic i a la capçalera poden assolir un gruix important, mentre que els subactuals no superen els **2 m** de potència. A prop de Puente la Reina, al sud-oest de Pamplona, cal destacar uns dipòsits de peudemont superficial d'extensió quilomètrica que en alguns punts presenten una potència significativa.

Finalment, al nord de Navarra prop de Lesaka es detecten un gran nombre d'esllavissades que poden assolir 1 km de llarg, i una potència de més de **20 m** (TECNA, 2002).

2.2.1.14 Peudemont en les províncies d'Osca i Lleida

Al llarg de la conca d'avantpaís eocena, a les províncies d'Osca i de Lleida, es disposen ventalls al·luvials en forma de glacis amb un pendent mitjà de 1% (Rodriguez Vidal, 1981) i amb una potència de l'ordre dels **10 m** a les fàcies proximals i d'uns **5 m** en les fàcies mitjanes (Figura 22). En aquests dipòsits de peudemont es poden diferenciar tres nivells: superior, mitjà i inferior.

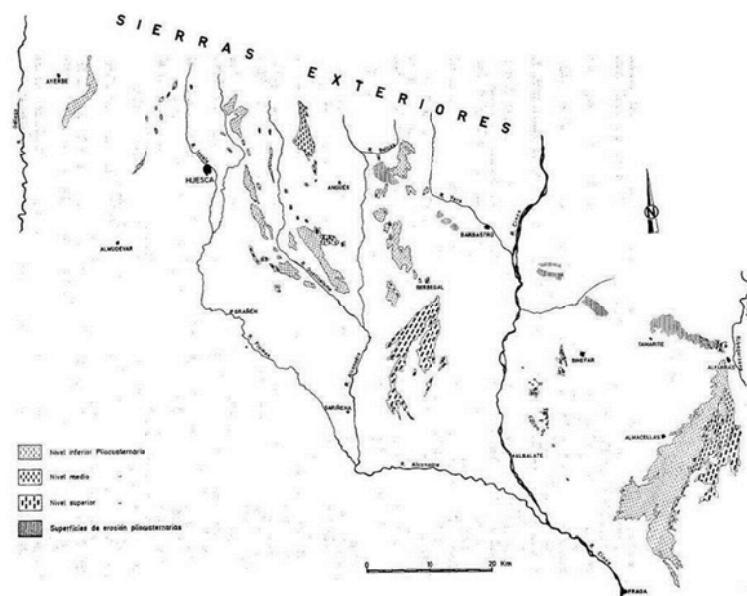


Figura 22. Peudemont plioquaternari del sector central pirenaic (Alberto *et al.*, 1983).

El nivell superior es troba ben desenvolupat a l'àrea Berbegal-Castelflorite on es detecten potències d'entre **3 i 8 m** (augmentant cap al nord). També aflora a l'àrea d'Alfarràs-Fraga on cal esmentar un aflorament situat a Alfarràs, corresponent a la zona apical del ventall, amb una potència d'uns **20 m**. A l'àrea de Ontiñena presenta potències d'entre **2 i 5 m**.

El nivell mig té una mica més d'**1 m** de gruix a Peralta de Alcofea, i en canvi a les zones proximals, a la Corona de Arascués es poden mesurar **18 m** i a la presa de Guara (Barranco Calcón) **12 m**. Finalment, el nivell inferior, a la Sarda de Bandaliés, assoleix una potència de **13.5 m**, mentre que a l'àrea del Pico Torraza (carretera Huesca-Ayerbe) presenta un gruix de **2.5 m** (Alberto *et al.*, 1983).

2.2.2 Dipòsits del sector guipuscoà

Els dipòsits de terrasses només s'observen als rius Bidasoa, Oiartzun, Oria i Urumea. On es distingeixen 4 nivells diferents: el nivell T4 situat a 18-22 m, sobre el cabal actual; el T3 a 10-12 m; el T2 a 5 m, que forma grans extensions amb una morfologia plana; i el T1 a 1-2 m, que representa el nivell més extens amb una morfologia similar al T2. En altres cursos minoritaris apareixen dipòsits al·luvials amb acumulacions fines, de potències d'entre **4-15 m**.

2.2.2.1 Conca del riu Bidasoa

El riu Bidasoa, de 69 km de longitud, neix al Pirineu navarrès, en el terme d'Erratzu, sota el mont de Auza a Izpegui. Des de la seva capçalera i fins la localitat de Oronoz-Mugairi se l'anomena riu Baztán i quan arriba a Santesteban el riu ja s'anomena Bidasoa. En territori navarrès arriba fins a Endarlatza, segueix durant 10 km la frontera amb França i desemboca entre Hendaya (França) i Fuenterrabía (Espanya) al mar Cantàbric, formant els aiguamolls de Txingudi i de Jaizubia.

És el riu de Guipúzcoa que presenta majors dipòsits al·luvials, que es concentren principalment entre Irún i Fuenterrabía, a uns 40-45 m sobre el riu actual. Aquests dipòsits presenten tres nivells diferenciats: El nivell superior (1) presenta una potència difícil de precisar, malgrat que s'estima propera als **2 m**; el nivell mitjà (2) i inferior (3) tenen un gruix aproximat de **3 m**.

El seu afluent, el riu Belzurri, presenta una plana d'inundació ben desenvolupada d'una amplada mitja de 500-600 m amb una gran quantitat de col·luvions amb potències de fins a **2 m** (Edeso *et al.*, 1993).

2.2.2.2 Conca del riu Oiartzun

El riu Oiartzun amb una longitud de 16,5 km, representa la conca més petita del rius de Guipúscoa. Neix als relleus de Peñas de Aia i desemboca a Pasajes. En el seu curs mig desenvolupa una important plana d'inundació. Les acumulacions fluvials antigues (nivells ubicats a 20-22 m, 15-16 m, 10-12 m i 4-5 m sobre el nivell actual del riu), presenten una potència reduïda (**2-3 m**) (Figura 23).

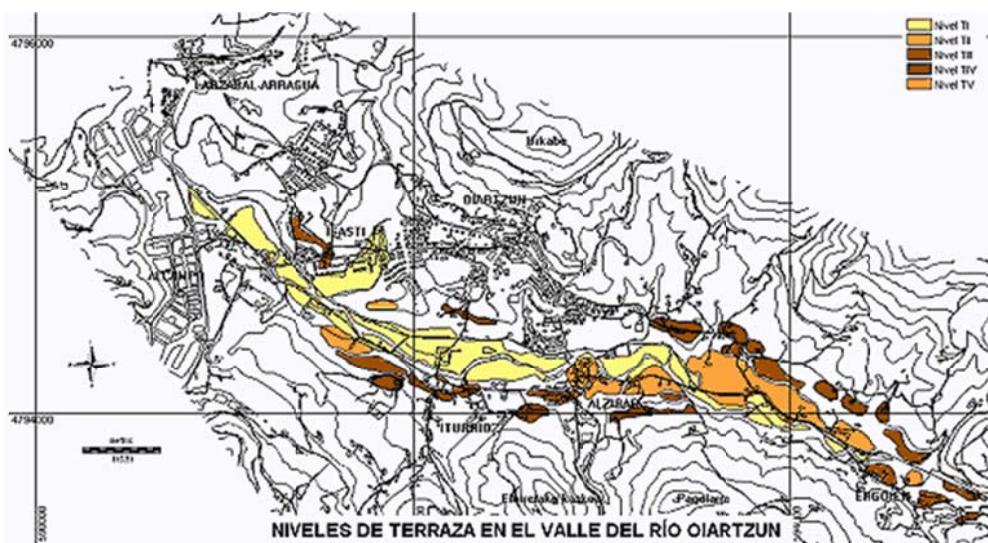


Figura 23. Nivells de terrasses del riu Oiartzun. (Edeso, 2006).

A la zona de Bidasoa-Txingudi (Irún), així com a la zona de Oiartzun, es descriuen dipòsits de peudemont i superfícies de glacis amb gruixos d'entre **1 i 5 m** (Edeso, 2007).

2.2.2.3 *Conca del riu Urumea*

El riu Urumea, amb 40 km de longitud, neix al port d'Ezkurra (Navarra) i desemboca al Mar Cantàbric, a Sant Sebastià. Presenta alguns dipòsits fluvials entre Hernani i Astigarraga i litorals a la seva desembocadura creant platges i dunes (Adán de Yarza, 1884).

2.2.2.4 *Conca del riu Oría*

El riu Oría és el principal riu de la província de Guipúscoa per longitud (78,5 km), conca i cabal. Neix a la serra de Aizkorri i desemboca al mar Cantàbric, al costat de la localitat de Orio. Només presenta alguns dipòsits prop de Tolosa i Lasarte (Adán de Yarza, 1884).

2.2.2.5 *Glacis de la Serra d'Aralar*

A les Serres d'Aralar i Aizkorri (Guipúscoa) es detecten formacions del peudemont septentrional que constitueixen dipòsits detritics de gran extensió i amb gruixos d'entre **5 i 6 m** (Sánchez-Carpintero *et al.*, 1992).

2.2.3 Dipòsits del sector català

2.2.3.1 *Conca del riu Muga*

El riu Muga és un riu pirinenc d'orientació est-oest que desemboca a la Mediterrània. Neix sota el Pla de la Muga i desemboca al golf de Roses, al terme municipal de Castelló d'Empúries, entre els aiguamolls de l'Empordà i Empuriabrava, després de 58 km de curs.

Els materials quaternaris associats a les terrasses fluvials del riu Muga i els seus afluents presenten potències que oscil·len entre **1 i 5 m** (ACA, 2004). Aigües avall de Peralada és on s'assoleixen majors potències, amb la deposició dels sediments deltaics amb gruixos superiors als **20 m**. (CIMEX 2007).

2.2.3.2 *Conca del Llobregat*

El riu Llobregat neix a les fonts del Llobregat, a Castellar de n'Hug (Berguedà), i desemboca al Mar Mediterrani, al Prat de Llobregat, prop de Barcelona. La conca del Llobregat té una extensió de 4.948,5 km² i el riu té una longitud de 175 km. Els afluents més importants són el Cardener, l'Anoia i les rieres de Rubí, de Marlés i Gabarresa.

Els dipòsits quaternaris presents a la conca del Llobregat estan relacionats amb les terrasses del propi Llobregat i, principalment, del seu afluent principal, el Cardener, i amb els glacis associats a les terrasses. L'extensió d'aquests dipòsits depèn de l'amplada dels fons de vall. En el tram del riu Llobregat i els seus afluents que se situen dins de la zona

d'estudi, les valls es troben molt encaixades, i per tant, els dipòsits al·luvials no presenten una amplitud molt significativa.

Es desenvolupen quatre nivells de terrasses, que es detecten intermitentment al llarg del recorregut del riu, encara que només adquireixen una certa entitat les tres terrasses més baixes amb gruixos variables.

La terrassa alta es localitza a una cota sobre el nivell del riu d'entre +80 i 90 m, i només es detecta a les parts més elevades de la conca. La terrassa mitjana se situa a una cota d'uns +70 m i presenta una potència d'entre **5 i 8 m**. La terrassa baixa se situa a uns +10 m amb una potència d'uns **2-3 m**. Aquesta terrassa passa lateralment a dipòsits de vessant. La terrassa inferior representa el curs actual del riu i presenta un gruix molt variable, podent presentar potències importants atribuïbles a dipòsits de plana d'inundació. Per contra, degut al fort encaixament de la vall i l'elevat pendent del riu, en alguns sectors no es detecten aquests dipòsits al·luvials actuals (terrassa inferior) i per tant el riu discorre sobre el mateix substrat.

2.2.3.3 Conca del Tordera

La Conca del riu Tordera inclou diferents unitats geològiques. El sector occidental de la conca forma part del Massís Montseny-Guilleries, el sud la conca forma part del Massís del Montnegre i en les zones sud-occidental i nord-oriental les depressions del Vallès i de la Selva, queden integrades en la conca (Figura 24).

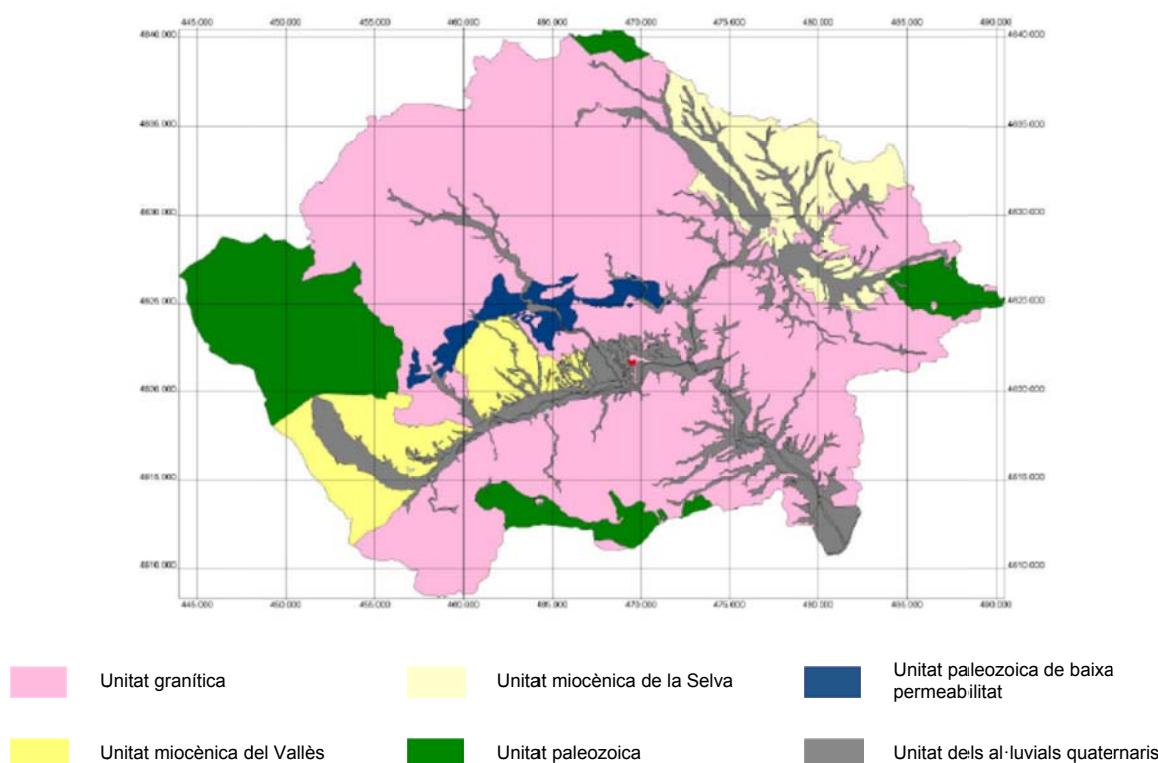


Figura 24. Geologia de la conca del Tordera (ACA, 2002).

Al llarg del riu Tordera i les grans rieres de la zona (Riera d'Arbúcies, de Santa Coloma, de Breda, d'Olzinelles, de Martorell entre altres) es localitzen materials quaternaris procedents d'antics esbaldregalls i dipòsits de vessant col·luvials i al·luvials, sobretot en les zones on hi ha relleus ben desenvolupats. També es localitzen altres materials quaternaris d'origen fluviotorrecial o fluvial, la naturalesa dels quals es troba fortament influenciada pels materials de la pròpia conca, ja que aquests materials al·luvials són el resultat de l'erosió, meteorització i removilització dels materials aflorants.

En el sector de Sant Celoni, els dipòsits al·luvials dels torrents estan formats principalment per materials metamòrfics amb gruixos que poden assolir els **15 m** i que disminueixen a mesura que ens desplaçem cap a la capçalera (ACA 2002).

A la conca de la Riera d'Arbúcies els materials al·luvials assoleixen la seva màxima extensió superficial en arribar a la desembocadura amb la Tordera. El gruix promig d'aquests dipòsits és d'uns **25 m**, gruix que disminueix de forma constant a mesura que ens endinsem en la capçalera.

A la conca de la Riera de Santa Coloma de Farners, els dipòsits quaternaris tenen uns gruixos que assoleixen potències d'entre **10 i 12 m** a l'alçada de Santa Coloma, i se situen al voltant dels **12 i 15 m** a l'alçada de Riudarenes. La potència d'aquests materials quaternaris augmenta cap a la confluència amb el Tordera.

Des de la població de Tordera cap a la desembocadura del riu els dipòsits quaternaris assoleixen gruixos d'entre **16 i 20 m** (Martínez *et al.*, 2003).

Per altra banda, cal esmentar la presència de glacis al sud-oest de la conca repartits en 4 nivells que presenten poc gruix (1-1.5 m cadascun dels nivells).

2.2.3.4 Conca del Ter

El riu Ter neix a Ulldeter al peu d'un antic circ glacial. Té un recorregut total de 208 km amb dues trajectòries diferenciades, una primera N-S des del seu naixement fins al nord de la plana de Vic i una W-E fins la seva desembocadura al mar Mediterrani, a l'Estartit. Els afluents principals del Ter són el Ritort, el Freser, el Gurri, el Brugent, el Terri, l'Onyar i el Daró.

Els sediments quaternaris presents a la conca del riu Ter corresponen a dipòsits al·luvials i a dipòsits de ventall al·luvial i col·luvials. Aquests sediments prenen especial rellevància des de El Pasteral fins a la desembocadura del riu. Cal tenir en compte també els sediments depositats al llarg dels cursos dels seus afluents, principalment el Freser, el Terri i el Daró i les acumulacions de sediments quaternaris a la cubeta de Celrà (Figura 25).

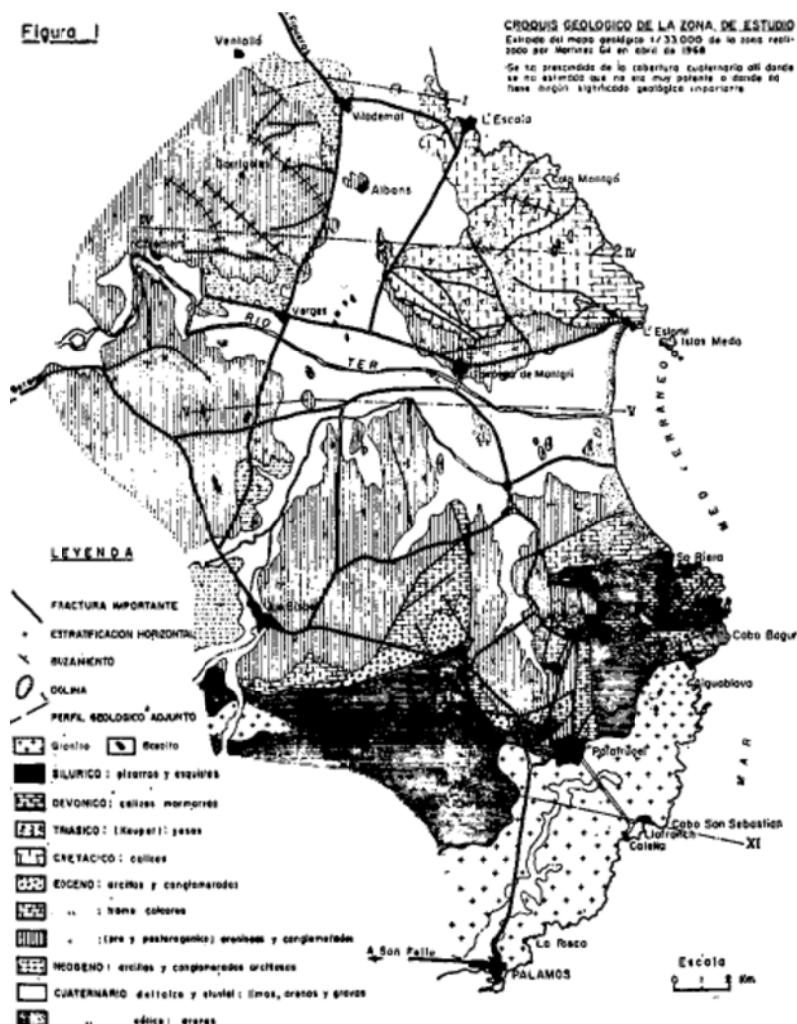


Figura 25. Mapa geològic de la desembocadura del Ter (Martinez, 1971).

A la conca de l'alt i mig Ter trobem terrasses fluvials, que presenten un gruix mig de **6 m** (Llobet *et al.*, 1985), recobertes per dipòsits de peudemont amb un gruix de **4 m**. El peudemont pren importància en els límits occidentals de la plana de Vic i les Guilleries.

Relacionades amb riu Ter, també cal destacar altres àrees on es localitzen dipòsits quaternaris amb potències significatives. El tram del riu Ter entre El Pasteral i el Pla de Girona presenta sediments quaternaris corresponents a dipòsits al·luvials de la plana del riu Ter i, en menor mesura, a dipòsits de ventall al·luvial i col·luvials que es desenvolupen al peu de les Gavarres (sector oriental) i al peu de la serralada Transversal (sector nord-occidental). Els dipòsits al·luvials de la T2 ocupen la major part de la plana al·luvial que s'estén entre l'estret d'Anglès i Bescanó i presenten un gruix irregular que en cap moment superen els **15 m**. La T1 compta amb un gruix màxim de **9 m** i la T0 té un gruix aproximat d'entre **2 i 3 m** (ACA, 2003).

La plana del Baix Ter es forma a partir de l'acumulació de materials al·luvials (graves, sorres, llims i argiles) depositats sobre un substrat de materials neògens i paleògens. A Colomers, el substrat de la plana al·luvial es localitza a una profunditat de **18-20 m**, mentre que a partir de Canet de Verges, la seva profunditat augmenta tant en la direcció actual del riu Ter com en direcció al Corredor d'Albons, amb gruixos de l'ordre dels **40 m** assolint màxims de **50-60 m** (Martínez, 1971).

- Plana del riu Daró

Al marge dret del riu Ter, es localitza un dels seus afluents, el riu Daró que configura una plana al·luvial i uns ventalls al·luvials provinents de l'erosió dels dipòsits terciaris que afloren en els vessants septentrionals de les Pregavarres. El dipòsits de ventall al·luvial presenten gruixos d'entre **3 i 7 m**, mentre que els dipòsits de la plana al·luvial tenen potències d'aproximadament **6 m** i es localitzen fonamentalment al nord de La Bisbal (Figura 26). A la confluència amb el riu Rissec, els dipòsits quaternaris assoleixen un gruix d'entre **10 i 20 m**.

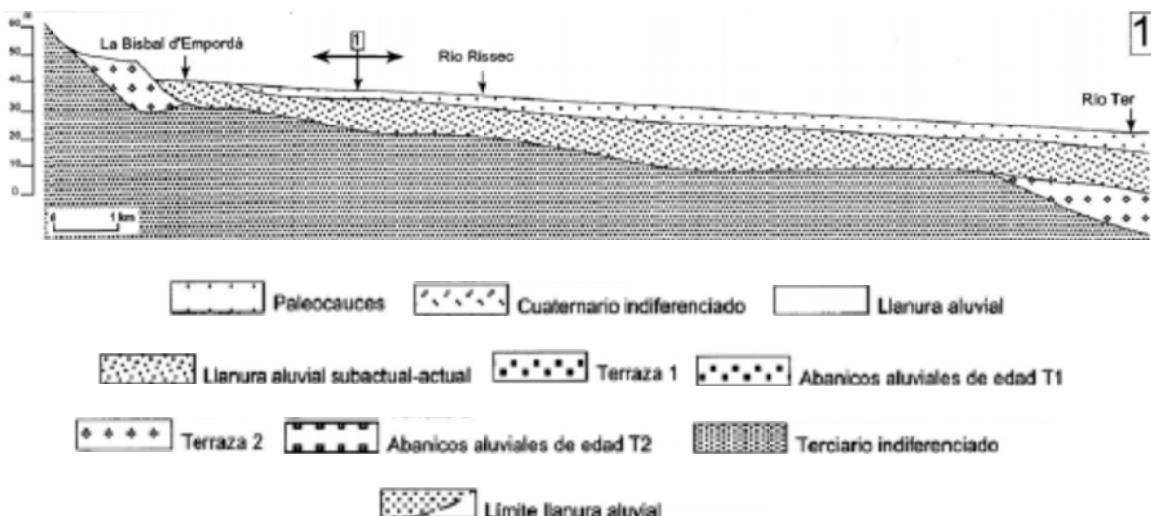


Figura 26. Tall longitudinal de la plana del riu Daró.

- Conca del riu Terri

A la conca del riu Terri es localitzen dipòsits al·luvials i, en menor mesura, dipòsits de ventall al·luvial i col·luvial (Figura 27).

Els dipòsits al·luvials de terrassa presents a la conca del terri es poden dividir en tres unitats, la terrassa T3 d'uns **10 m** de potència, la T2 amb un gruix irregular que no arriba a superar els **15 m** i la T1 amb una extensió molt reduïda i un gruix màxim de **5 m**.

Els dipòsits al·luvials–col·luvials, que afloren al nord de la conca del Terri, estan associats a les rieres de Matamors i Remença, situades al sud de l'estany de Banyoles, que presenten una potència de l'ordre dels **7 m**.

Dins de la conca del Terri també tenen força importància, en quant a extensió, els dipòsits de travertins detritics del pla de Mata, amb potències entre **40 i 60 m**; i les calcàries travertínicas laminars del Pleistocè, que apareixen en el subsòl de Banyoles, amb una potència d'uns **10 m** (Solà *et al.*, 1996).

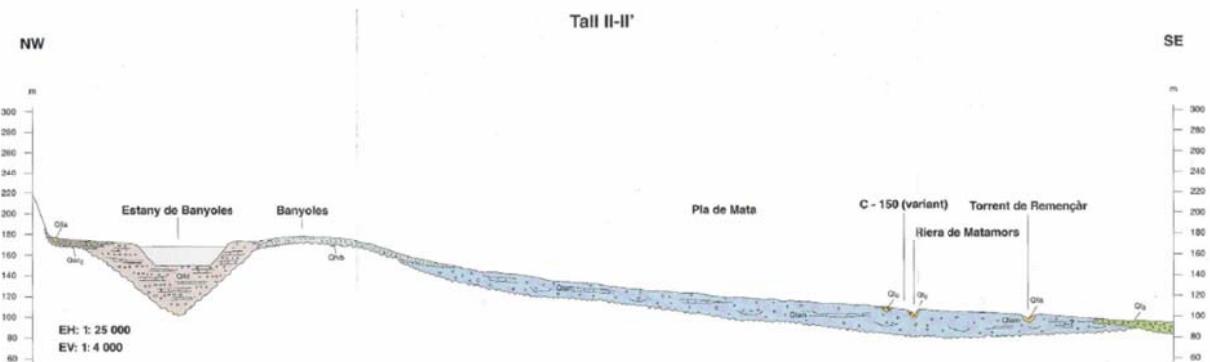


Figura 27. Tall longitudinal de la plana del Terri (Qtam: Travertins al·luvials, Qt3: Terrassa 3, Qtvb: Travertins de vessament, Qlld: Llots carbonatats de l'estany, Qac2: Dipòsits al·luvials-col·luvials d'edat terrassa 2, Qt0: Terrassa 0, Qlla: Dipòsits de llera actual) (Mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.000, full Banyoles). ACA 2003.

- Cubeta de Celrà

La cubeta de Celrà és una petita cubeta geomorfològica situada en el límit sud-occidental de la plana del Baix Empordà. Els sediments quaternaris més representatius localitzats corresponen a dipòsits de plana al·luvial i, en menor mesura, a dipòsits de ventall al·luvial i col·luvial que es desenvolupen al peu de les Gavarres i Pregavarres. Les terrasses T3 i T2 entre el riu Terri i la plana de Celrà, constituïdes per gravetes i sorres presenten potències de l'ordre dels 15 m. Els materials corresponents als dipòsits del ventall al·luvial de Celrà afloren al peu de les Pregavarres recobrint el substrat paleozoic i presenten un gruix irregular, assolint un màxim d'entre 10 i 14 m (Figura 28).

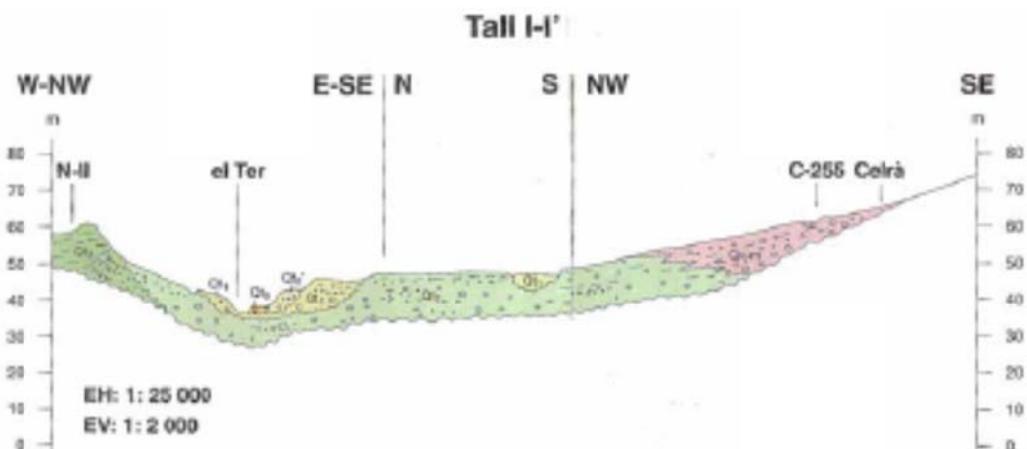


Figura 28. Perfils geològics de les unitats quaternàries. Font: Mapa geològic de Catalunya a escala 1:25.000; full de Sarrià de Ter. Unitats geològiques representades als perfils: Qv2m, ventall al·luvial de Celrà; Qt3, terrassa 3; Qt2, terrassa 2; Qt1, terrassa 1; Qt0, terrassa 0; Qt0, terrassa 0; Qcd, con de dejecció (ACA, 2003).

- Cubeta de Girona

La cubeta de Girona s'obre entre Bescanó i la ciutat de Girona i està constituïda per la segona i la tercera terrassa, a més de la plana d'inundació actual i la terrassa inferior. Els dipòsits al·luvials presenten espessors d'entre **5 i 15 m**.

2.2.3.5 Conca del Fluvià

El riu Fluvià neix a la Garrotxa i recorre 97.2 km en direcció W-E fins a desembocar al golf de Roses, prop de Sant Pere Pescador. Els seus principals afluents són la riera de Bianya, el Borró, el Llierca i el Ser. Els sediments quaternaris a la conca del riu Fluvià corresponen a dipòsits al·luvials i a dipòsits de ventall al·luvial i col·luvials.

Els dipòsits al·luvials d'origen fluvial estan àmpliament representats i formen les terrasses dels rius Fluvià, Llierca, Borró, Ser i de moltes rieres. En el curs mig del Fluvià es poden diferenciar 4 nivells de terrasses i localment 5. Les alçades mitjanes respecte la cota base del riu són de 48 m, 30 m, 22 m, 12 m i 4 m. Aquests dipòsits d'edat quaternària presenten uns gruixos màxims a la terrassa 4 del riu Llierca, entre Tortellà i Montagut, de **45 m**, i a la terrassa 3 a la zona de Besalú amb un gruix de **30-35 m** (Capellà *et al.*, 1994). En el sector de Bàscara, els dipòsits al·luvials poden arribar als **20 m** de gruix, essent el gruix mig d'entre **6 i 12 m** (ACA, 2004).

A la riba dreta del Fluvià, a l'est de Besalú, afloren conglomerats plioquaternaris que formen part del ventall al·luvial i presenten les característiques d'un dipòsit de terrassa. La seva potència és variable per la irregularitat del substrat eocè en el que reposen, amb gruixos de fins a **75 m**. A la plana de Maià de Montcal trobem graves poc cimentades amb còdols i abundant matriu argilo-llimosa corresponents als dipòsits de dejecció amb una potència d'entre els **20 i 40 m** que disminueix progressivament cap a les zones més properes als relleus eocens.

- Vall de Bianya

A la vall de Bianya els dipòsits al·luvials, fluvio-torrecials i fluvio-lacustres es localitzen als fons de les valls i sovint presenten característiques de reompliment, condicionades pel barratge ocasionat pels corrents de lava, que obstrueixen els rius i desvien els seus cursos. També es localitzen dipòsits col·luvials que es distribueixen al peu dels relleus eocènics. Es calcula que el gruix de sediments quaternaris en aquest sector és d'uns **50 m** (Palou *et al.*, 2009).

- Vall d'en Bas

A la vall d'en Bas es troben dipòsits quaternaris d'origen lacustre i palustre amb una potència que no sol superar els **25 m** (Martínez *et al.*, 2000).

2.2.3.6 Conca del Besós

El riu Besós neix a la comarca del Vallès oriental i desemboca al Barcelonès, a Sant Adrià del Besós. Té un recorregut total de 17.7 km i els seus afluents principals són el Mogent, el Congost, el Tenes, la riera de Caldes i el Ripoll. Tant el riu Besos com els seus afluents originen dipòsits al·luvial de terrassa i de ventall així com col·luvials.

Les terrasses dels afluents del Besós que creuen el Vallès tenen una potència d'entre **1 i 7 m** (G3, 2010), mentre que els materials del ventall al·luvial tenen una potència mitja de **20 m**. Per altra banda, cal esmentar la presència de glacis d'origen col·luvial al nord-est de la conca on es distingeixen 4 nivells amb una potència d'entre **1 i 1.5 m** cadascun. (De Mas i Canals, 1981).

2.2.3.7 Conca del Segre

El Segre és un dels principals afluents affluent del riu Ebre pel seu marge esquerra. Neix al vessant septentrional del pic del Segre, al circ de la Culassa, a l'Alta Cerdanya, i desemboca, després de recórrer 265 km, al riu Ebre, al seu pas per Mequinensa (Baix Cinca).

Els materials quaternaris presents a la conca del riu Segre són principalment dipòsits de terrassa fluvial. A la part alta del Segre, a les terrasses del Duran, els materials quaternaris tenen gruixos d'uns **8.5 m**, mentre que a l'alçada de Puigcerdà assoleixen un gruix d'entre **3.5 i 16.8 m** (Gómez Ortiz, 1978). Al voltant de la Seu d'Urgell la potència de les terrasses del Segre assoleix els **20 m** (Turú *et al.*, 2006), i a Artesa de Segre la terrassa 2 presenta una potència d'entre **5 i 10 m** i la terrassa 3 uns **20 m** (INECO, 2009).

La nouera Pallaresa, un dels afluents del Segre que desemboca al pantà de Camarassa, presenta uns dipòsits quaternaris al voltant de la ciutat de Tremp amb gruixos d'entre **5 i 20 m**.

2.3 Dipòsits litorals

Els dipòsits litorals prenen una rellevància especial ja que soLEN presentar potències altes i es classifiquen en el límit de sols tous i sols molt tous. La principal acumulació de dipòsits litorals es concentren en la costa catalana on la dinàmica extensiva del marge continental crea les condicions per tal que es produixin acumulacions de sediments. Per altra banda els principals rius catalans tenen associat una estructura deltaica en la seva desembocadura al mar destacant-se dins de la zona d'estudi els deltes del riu Fluvia-Muga i el delta del riu Tordera.

Inclou els epígrafs següents del mapa geològic i el mapa de quaternaris 1:400.000: q3b (dunes i cordons litorals actuals), 28 (dunes holocenes i cordons litorals actuals o recents), 29 (rebliment deltaic fluvio-marí de planes litorals baixes), 45 (maresmes litorals).

2.3.1 Dipòsits litorals del baix Maresme i rieres

Bona part del litoral del Maresme, la Selva i l'Empordà està constituït per dipòsits quaternaris d'origen litoral i al·luvial amb gruixos molt significatius.

En el litoral de la comarca del Maresme, es desenvolupen quaternaris d'origen al·luvial i litoral (Figura 29). Els dipòsits al·luvials es desenvolupen al llarg d'una estreta franja costanera d'uns 2 km d'ample i 50 km de llarg i assoleixen gruixos de fins a **30 m**. Els dipòsits litorals representen una franja amb una amplada inferior a 1 km amb potències que poden arribar als **100 m**, amb una valor mitjà de **25 a 30 m** (ACA, 2004).

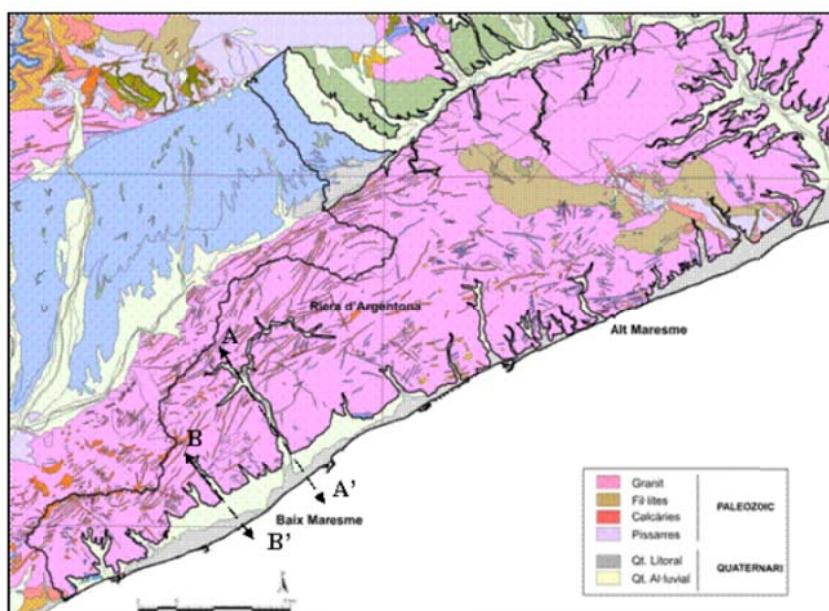


Figura 29. Mapa geològic del Maresme (ACA, 2003)

En el sector de La Selva i l'Empordà, els dipòsits al·luvials s'acumulen a les diferents rieres. A la riera de Tossa s'acumulen el gruixos de sediments fluvials d'uns **11 m**, arribant als **20.5 m** a la desembocadura (Geis, 2005). A la riera de Ridaura es detecten **20 m** de gruix de sediments quaternaris al sector de Santa Cristina d'Aro, i al voltant dels **35 m** aigües avall (Vilanova, 2004) (Figura 30). A les rieres de Calonge (Figura 31) i Lloret els materials quaternaris no superen en cap cas els **35 m** de gruix (ACA, 2004).

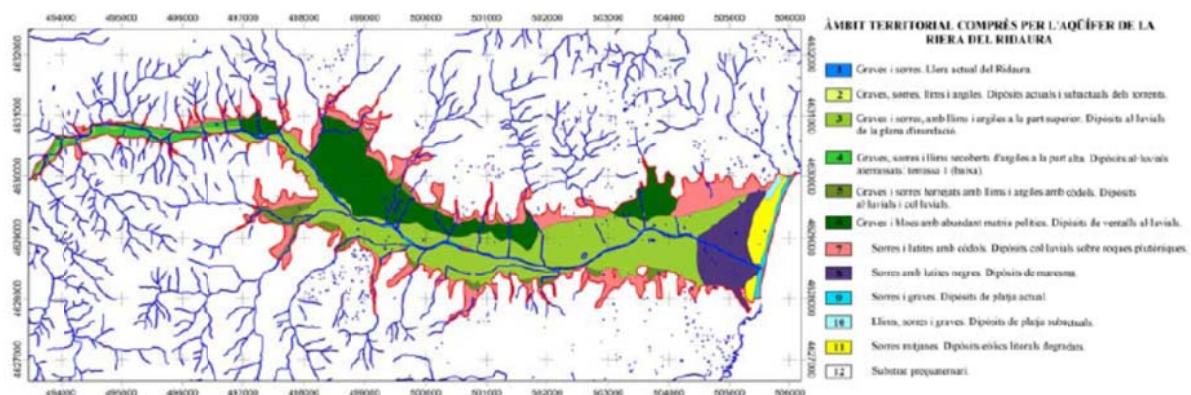


Figura 30. Geologia de la riera del Ridaura. (Vilanova 2004).

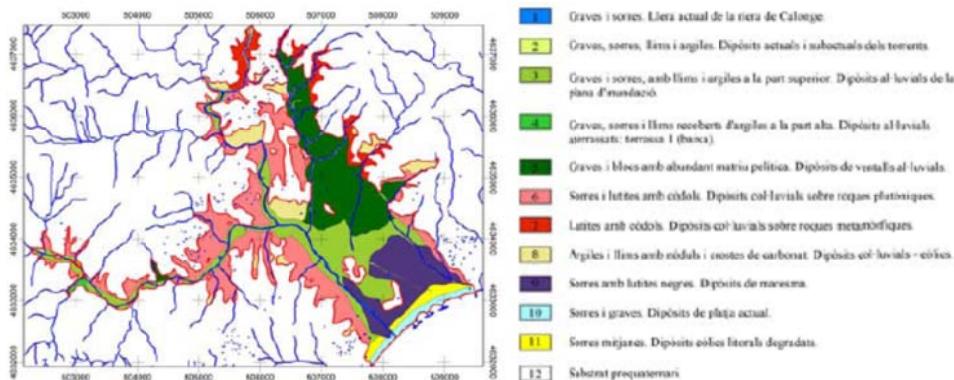


Figura 31. Geologia de la Riera de Calonge. (Vilanova 2004)

2.3.2 Delta del Fluvià-Muga

El delta del Fluvià i del Muga està format per una capa superficial de **20 m** de material fi seguida de 2 o 3 nivells de graves intercalades amb llims i sorres. Tot el conjunt s'apropa als **100 m** de potència (Figura 32).

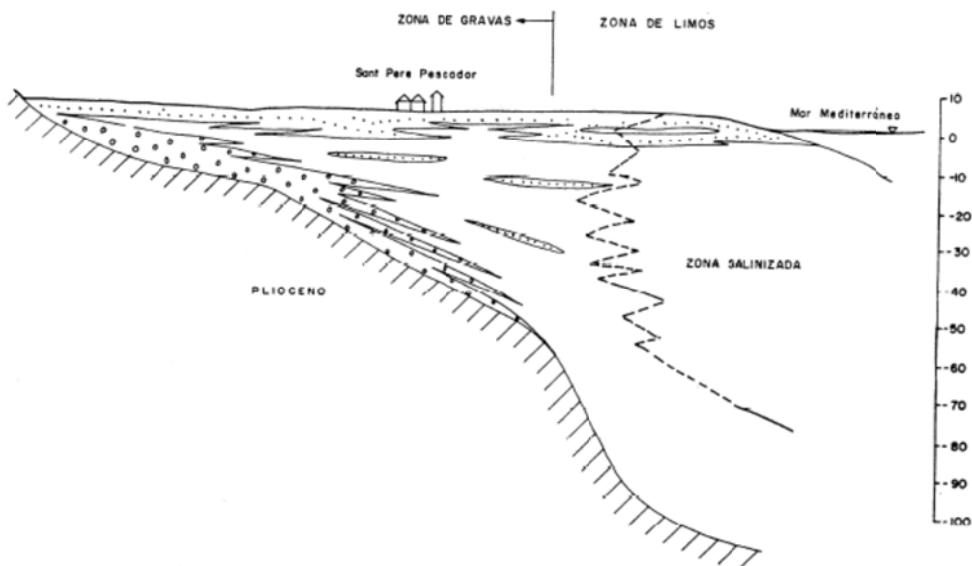


Figura 32. Esquema zona deltaica Fluvià-Muga.

2.3.3 Delta de la Tordera

El delta de la Tordera, s'estén entre els municipis de Calella i Blanes, al nord de la comarca del Maresme. El coneixement del delta va quedar força ben establert des dels treballs inicials del MOPU (1971), posteriorment actualitzats al PHPO (1985). En ambdós treballs ja es va posar de manifest una estructura bicapa però de major complexitat. Els pous de captació d'aigua salada per planta dessalinitzadora a la línia de costa van permetre un registre complet del delta, en aquests sondatges es va observar que el basament no es travessa fins a més de **170 m** de profunditat. El granit del Sistema Litoral

que actua d'encaixant, normalment està recobert per una capa d'alteració que estableix un trànsit gradual entre els sediments quaternaris i el basament. Altres sondejos d'investigació han confirmat aquesta hipòtesis. Els estudis geofísics de superfície (sondejos elèctrics, sísmica de refracció i perfils de reflexió) (Serra *et al.*, 2007) han contribuït a establir la geometria que es sintetitza en la Figura 33.

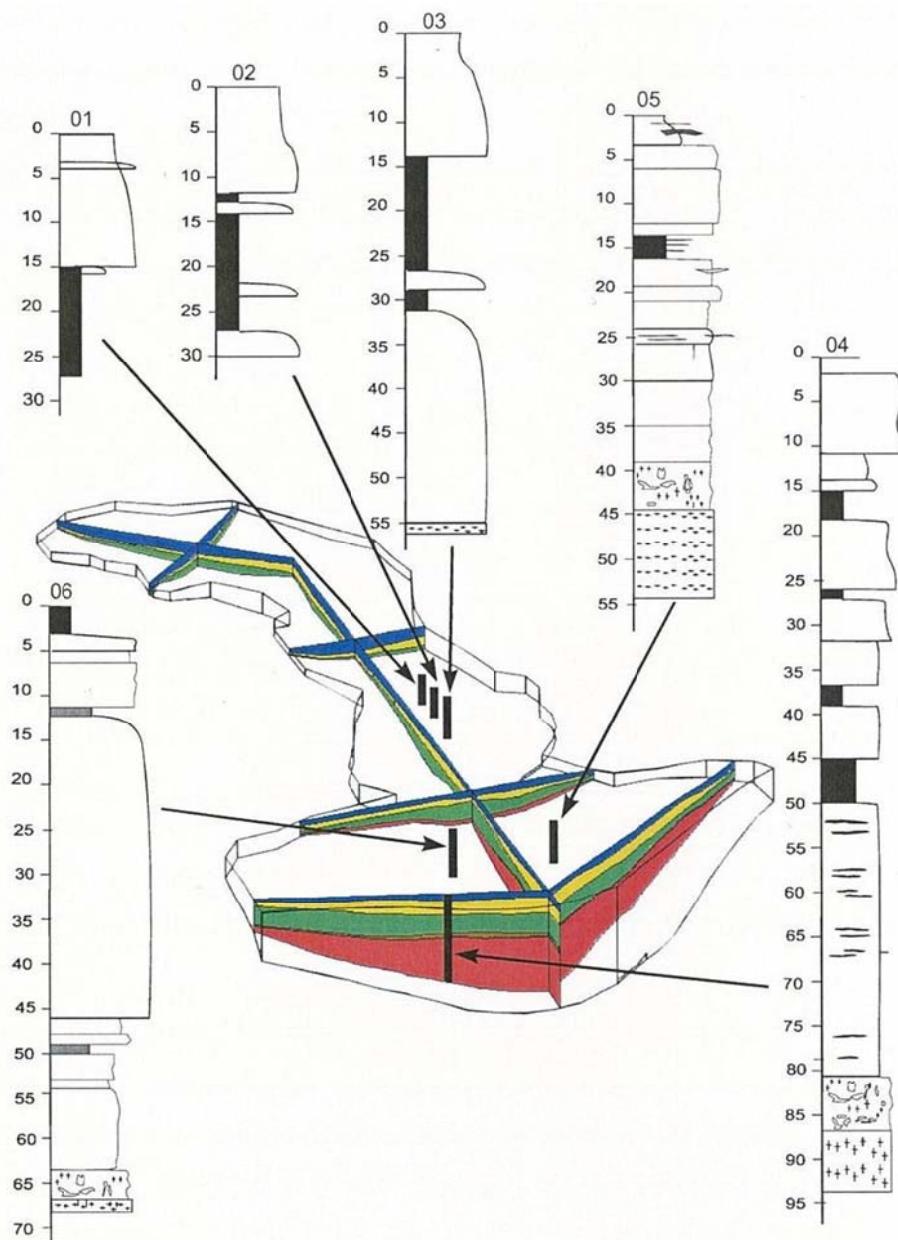


Figura 33. Representació del curs baix i el delta del Tordera. (Guimerà *et al.*, 2003).

2.3.4 L'estuari del riu Bidasoa

L'estuari del riu Bidasoa comprèn l'espai entre el nucli de Ergobia i la desembocadura del riu Bidasoa. Aquest sector està recobert per una potent massa de sediments quaternaris (Holocè), que configuren una ampla plana litoral (amb influències fluvials evidents). Morfològicament, el sediment holocè de l'estuari constitueix una plana de 7.5 km de longitud i 950 m d'amplada, que està envoltada per petits turons (Figura 34). A Playaundi (confluència de Jaizubia i Bidasoa, just davant de l'aeroport), s'han efectuat sondeigs mecànics amb extracció de testimoni continu que demostren l'existència de més de **30 m** de sediment. A la part interna de l'estuari, el sediment detritíc oscil·la entre els **10-12 m**, configurant dues amplies superfícies horizontals (Lastaola i Gobicenea). Lateralment, l'extrem intern de les dues acumulacions està solapat per dipòsits col·luvials procedents del massís paleozoic de Cinco Villas. (Figura 34). (Lozano Valencia, 2002).

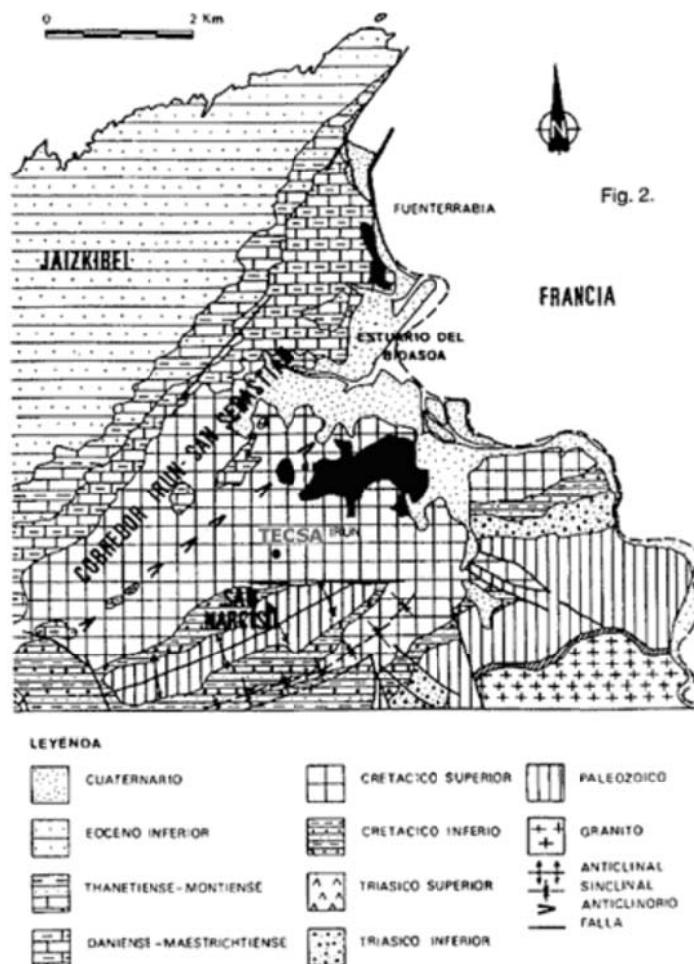


Figura 34. Mapa geològic de l'aiguamoll de Bidasoa. Edeso (1993).

3 Conques neògenes

Els dipòsits neògens inclouen els següents epígrafs del mapa geològic 1:400.000: p (dipòsits continentals, pliocè), m (margues, argiles, sorres, calcàries, conglomerats i guixos).

Les conques neògenes més importants es localitzen al sector català. La formació d'importants gruixos de dipòsit neògens va associat a una dinàmica extensiva que genera una estructura de fosses i alts tectònics que creen les condicions i l'espai per tal que es produixin importants acumulacions de dipòsits. Les conques principals que afecten el sector d'estudi dins de Catalunya són la depressió de l'Empordà, la conca de La Selva, la depressió del Vallès, la fossa de la Cerdanya

3.1 Fossa de la Cerdanya

La depressió de la Cerdanya és una semi-fossa asimètrica orientada ENE-WSW. L'estructura de la fossa és deguda a la falla del Tet, de direcció NE-SW, que la limita la depressió al SE, i la presència dins de la fossa de falles EW que s'amorteixen cap al W, de manera que l'interior de la fossa està format per diversos blocs que cabussen a l'E-SE.

Aquesta estructura confereix una marcada asimetria entre el marge S i SE de la fossa i el N. D'aquesta manera, el marge S i SE és abrupte i ve caracteritzat per importants falles subverticals NE-SW i EW que posen en contacte els materials neògens de la conca amb el sòcol paleozoic, mentre que el marge septentrional, molt més irregular, el contacte entre el rebliment de la fossa i els del sòcol, tot i que va venir condicionat per falles EW, és bàsicament discordant. El reblert sedimentari de la fossa és constituït per potents successions detritiques, organitzades en dues grans unitats estratigràfiques: la unitat neògena inferior (**400 m**, aprox.) i la unitat neògena superior (**200 m**, aprox.). El recobriment neogen assoleix el gruix màxim a les parts més orientals, mentre que cap a l'W, el gruix disminueix fins que el sòcol aflora i el Neogen s'hi disposa discordantment.

Posteriorment, durant el Quaternari, la fossa de la Cerdanya registra diverses pulsacions glaceres (Panzer, 1932; Gourinard, 1971) reflectides per la deposició d'extensos dipòsits de caràcter glacial, fluvio-glacial i fluvial (terrasses) que es disposen discordants tant sobre el sòcol paleozoic com sobre el rebliment neogen de la fossa de la Cerdanya.

3.2 Depressió de l'Empordà

La plana de l'Empordà és una plana d'enfonsament dels períodes Neogen i Quaternari, que enllaça les ribes al·luvials de la Muga, el Fluvià i el Ter. (Figura 35). Està delimitada a l'oest per la falla de l'estany de Banyoles, al nord, pels massissos paleozoïcs, i al sud-oest, per les Gavarres (Rivero *et al.*, 2001).

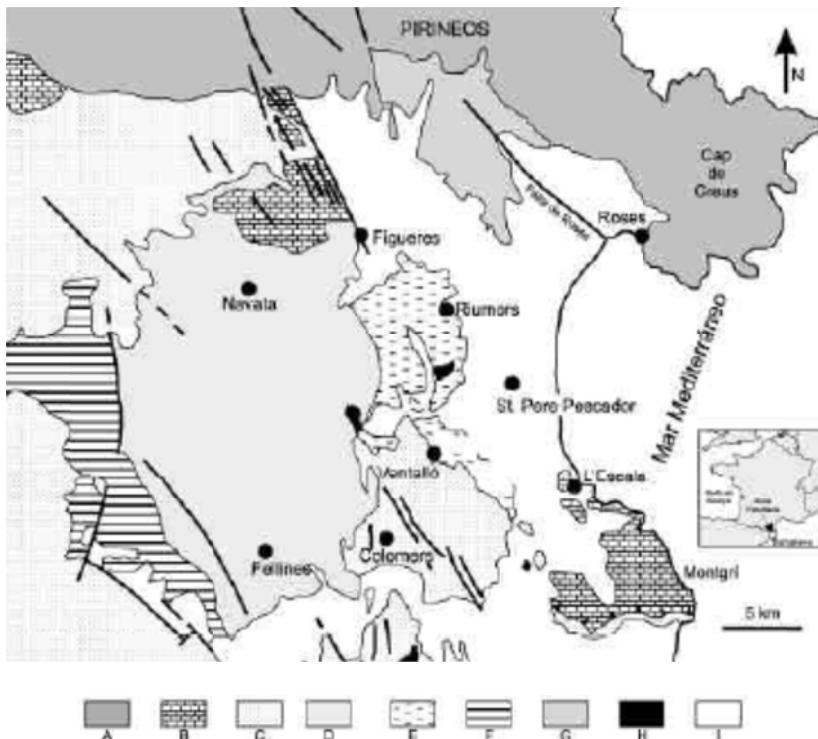


Figura 35. Mapa geològic de la depressió de l'Empordà (A-Paleozoic; B-Mesozoic; C-Eocè; D-Neogen Continental; E-Miocè mig i superior; F-Pleistocè; G-Miocè superior; H-Roques volcàniques; I-Holocè).

Les dades de sondatges i de sísmica de reflexió indiquen que el gruix de les successions neògenes pot arribar als **1000 m**. Les dades gravimètriques i de sondatges mostren l'existència de dos depocentres principals, a Fellines i a Riumors, amb **600 i 900 m** de sediments respectivament, separats pel llindar de Colomers-Vilopriu (Guimerà *et al.* 1992).

Els dipòsits al·luvials quaternaris recobreixen posteriorment la depressió de l'Empordà. En alguns sectors, com a la plana que s'estén a l'est de Figueres, els dipòsits quaternaris constitueixen diverses terrasses i els cursos fluvials. Intercalats amb aquests dipòsits hi ha acumulacions lineals de sorres de mida de gra mitjà i mitjà-groller que solquen la plana al·luvial. El seu gruix pot assolir com a màxim els **7-8 m** i s'interpretenc com a lleres fluvials fòssils, també d'edat holocena (Observatori del Paisatge, 2010).

3.3 Depressió de La Selva

La depressió de la Selva és una plana situada entre 100 i 150 m sobre el nivell del mar amb una extensió aproximada de 600 km^2 repartits entre les comarques de La Selva i el

Gironès. La plana volteja el massís de les Gavarres i limita al sud-est amb la serra de la Selva Marítima. Per altra banda, la plana conté una sèrie de rieres pròpies de les conques del riu Onyar i la riera de Santa Coloma.

El gruix de rebliment sedimentari es troba determinat per la configuració en “horst” i fossa del substrat de la conca i és molt variable, amb un màxim de **300 m** a la vora SW, entre Santa Coloma de Farners i Riudarenes i entre Riudarenes i Fornells de la Selva (seguint la diagonal de la conca), mentre que cap a les vores de la conca el gruix oscil·la entre **100 i 200 m**. El procés de rebliment tingué lloc durant el Neogen mitjançant la implantació de dispositius al·luvials amb petits sistemes lacustres subordinats. (Guimerà *et al.*, 1992). (Figura 36).

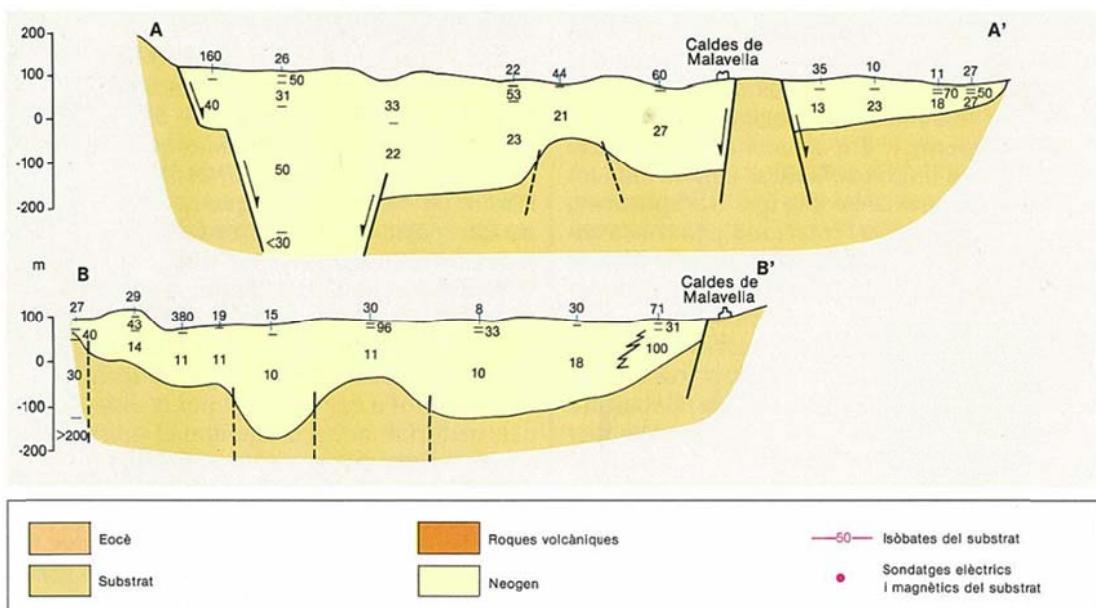


Figura 36. Perfs de la depressió de la Selva que mostren les falles principals i la disposició del substrat preneogen (Guimerà *et al.*, 1992).

Els materials neògens es troben recoberts per materials quaternaris al·luvials i col·luvials procedents de les serralades adjacents amb una potència màxima de **30 m** (Vehí, 2001).

3.4 Depressió del Vallès

La depressió del Vallès forma part de la depressió Prelitoral Catalana i comprèn la plana delimitada entre els rius Tordera i Llobregat. La formació de la depressió del Vallès s'emmarca en el procés extensional lligat a la distensió que va afectar la regió des de l'Oligocè Superior al Burdigalià Superior. D'aquí l'actual configuració estructural en un sistema de horts i fosses del marge continental català, tant a la part emergida com submergida. Els dipòsits miocens estan constituïts per una alternança complexa de conglomerats, gresos i lutites. Corresponden a la sedimentació de sistemes de ventalls al·luvials d'extensió molt variable. La fondària a què es troba el substrat Premiocè és molt variable. Al Vallès, prop de la falla del Vallès-Penedès, és on aquesta fondària és màxima (pot superar els **4 km**), mentre que a Granollers és mínima (un sondatge va detectar-hi el substrat a **800 m**). Prop de la zona SE de la depressió, torna a augmentar la potència a

uns **2000 m** però disminueix ràpidament cap al SE (informació sísmica indiquen a Rubí) (Guimerà *et al.*, 1992) (Figura 37 i Figura 38).

Al final del Pleistocè, la xarxa fluvial es va encaixar fortament en els ventalls pleistocens i en el substrat prequaternari fins assolir una morfologia similar a l'actual. Finalment, a les valls, els dipòsits de ventall al·luvial constituïts per graves amb sorres i argiles d'edat pliocena presenten un gruix variable entre **24 i 30 m** i puntualment al voltant dels **5 m**.

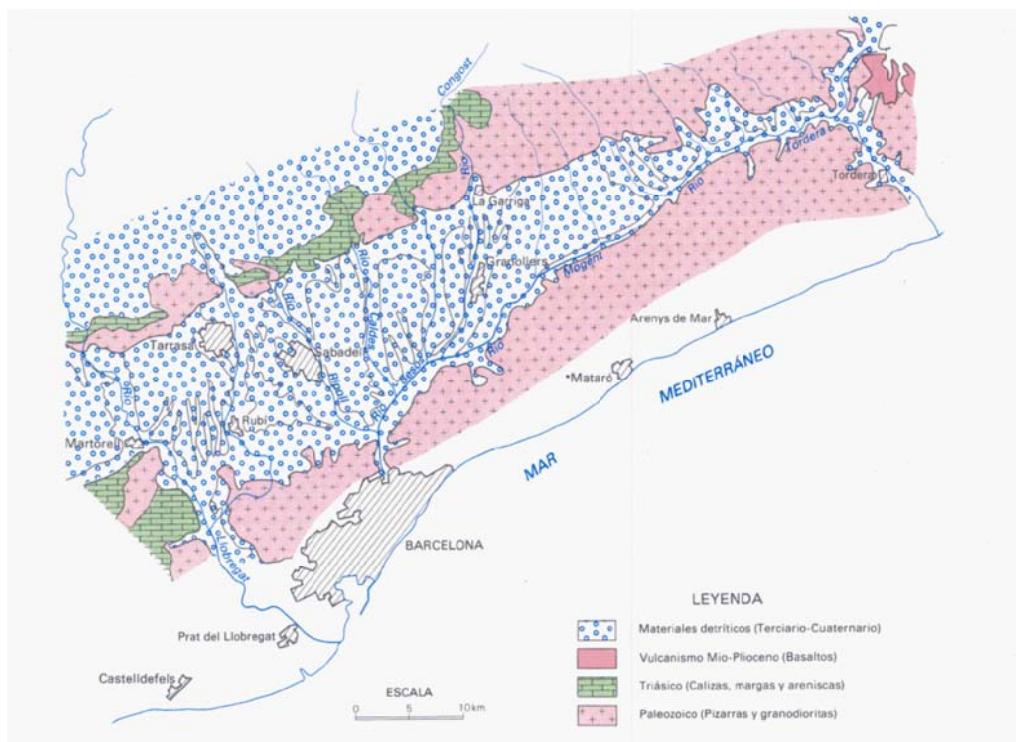


Figura 37. Mapa geològic de la Depressió del Vallès. (ITGE 1993).

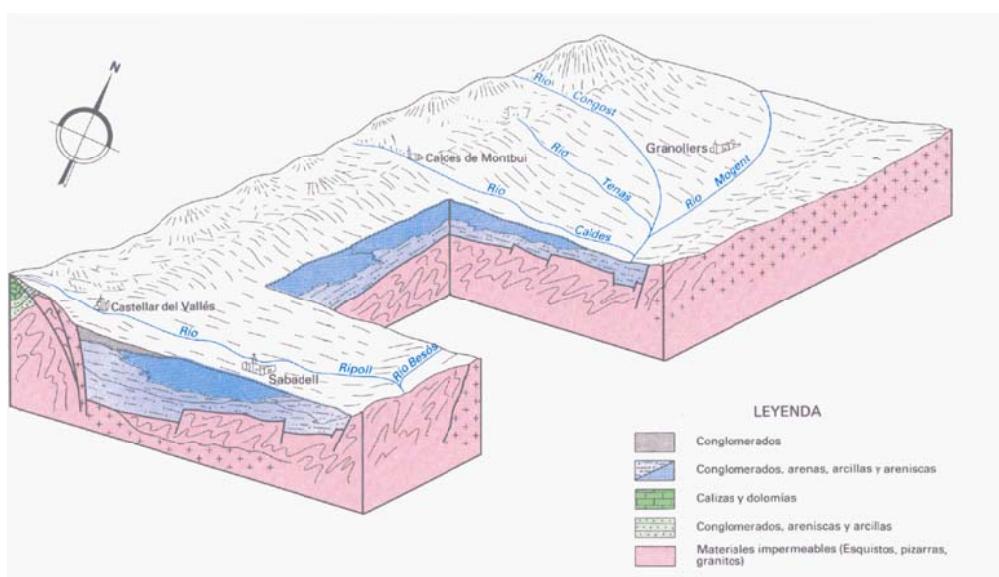


Figura 38. Bloc diagrama esquemàtic de la Depressió del Vallès. (ITGE 1993).

4 BIBLIOGRAFIA

ADÁN DE YARZA, R. (1884). Descripción física y geológica de la provincia de Guipúzcoa. Madrid: Manuel Tello. 175 p.

ALBERTO, F., GUTIÉRREZ, M., IBÁÑEZ, M-J., MACHÍN, J., MELÉNDEZ, A., PEÑA, J.L., POCOVI, A., RODRÍGUEZ, J. (1983) *El piedemonte pliocuaternario en el sector central pirenáico (Huesca y Lérida)* Geographicalia, n. 18 (1983): 109-126

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2004). *Fitxa De Caracterització, Anàlisi de pressions, impactes i anàlisi del risc d'incompliment conca alta de la Muga, nº 03.* Masses d'aigua Subterrània de Catalunya.

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2004). *Fitxa de caracterització, anàlisi de pressions, impactes i anàlisi del risc d'incompliment. Al·luvials de la baixa Costa Brava, nº15.* Masses d'aigua Subterrània de Catalunya.

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2004). *Fitxa de caracterització, anàlisi de pressions, impactes i anàlisi del risc d'incompliment. Maresme, nº18.* Masses d'aigua Subterrània de Catalunya.

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2003) *Planificación del espacio fluvial de la cuenca del bajo Ter.*

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2002) *Planificació de l'espai fluvial de la conca de la Tordera.* P210411/SRLC/ME-0. Octubre 2002. Ed. 1 – Rev. 1. Capítol A.1.3.4.1.

BENITO FERRANDEZ, G. (1980). *Terrazas y glacis del somontano de Ayerbe.* Tesis doctoral.

BORDONAU, J. (1985). *Estudi geomorfològic del sector sudoccidental de la Vall d'Aran. L'evolució quaternària de les valls dels rius Joeu i Nere.* Tesis de Licenciatura, Universitat de Barcelona, 141 págs.

BORDONAU, J. y VILAPLANA, J. M. (1986). *Géomorphologie et tectonique récente dans le Val d'Aran (Zone axiale des Pyrénées Centrales, Espagne).* Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique, 27, 303-310.

BORDONAU, J. (1992). *Els complexos glacio-lacustres relacionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus.* Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.

BORDONAU J., POUS J., QUERALT, P. I VILAPLANA, J. M. (1989) *Geometría y depósitos de las cubetas glaciolacustres del Pirineo.* Estudios geol., 45: 71-79

CAPELLÀ, I., PALLÍ, L. I ROQUÉ, C.(1994). *Unitats litològiques d'interès per a la producció d'àrids a l'àrea del curs mitjà del riu Fluvia (la Garrotxa).* Unitat de Geologia. Dept. de Ciències Ambientals, Universitat de Girona.

CIMEX, Proyectos Logísticos (2007) *Informe ambiental pla parcial del Sector Sud-7 del municipi de Roses (Alt Empordà).* Codi: 105 Peticionari: Balcó de Roses

CLOTET, N., GALLART, F. I TRICART, J. *Fenòmenos glaciales cuaternarios en el alto Llobregat (Prepirineo Catalán)*. Institut d'Investigacions Geològiques Jaume Almera (CSIC).

DE MAS I CANALS, D. (1981). *La geomorfología del Vallès Oriental*. Institut d'Estudis Catalans. Arxiu de la secció de ciències, LXII. Pàgs 31-48.

EDESO, J.M. (1993). *Jaizkibel-Estuario del Bidasoa*. Itinerario 6. Universidad del País Vasco.

EDESO, J.M. (2007). *Caracterización geomorfológica de diversos depósitos coluviales localizados en la cabecera del río Oiartzun (Guipúzcoa)*. Lurralte :inv. espac. N. 30. p. 95-107.

EDESO, J.M. (2006). *Caracterización granulométrica, morfométrica, litológica i sedimentológica de las terrazas fluviales del valle del río Oiartzun (Guipúzcoa, País Vasco)*. Lurralte :inv. espac. N. 29

GEIS NIELSEN, C. (2005) *Contribució al coneixement de variables geoambientals en l'àmbit de la costa brava (Girona)*. Tesi Doctoral. Universitat de Girona. ISBN: 84-689-3754-I

GIMENEZ BRUNET, J. L. (1982). *Glacis y terrazas en las cuencas de Campo y Morillo de Liena (Huesca)*. Argensola. Revista de ciencias sociales. Instituto de Estudios Altoaragoneses.

GUIMERÀ, J. et al. (1992). *Història Natural del País Català*. Geologia II. Encyclopèdia Catalana.

GUIMERÀ, J., JORDANA, S. RUIZ, E., IGLESIAS, M. I BORRÀS, G. (2003) *Un Modelo 3d De Densidad Variable Para Simular El Sistema Acuífero Multicapa Del Delta Del Río Tordera (Barcelona, Cataluña, España)*. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos IGME. Madrid 2003. ISBN: 84-7840-470-8

GÓMEZ ORTIZ, A. (1978) *El modelado glacial del Valle del Duran (Cerdanya)*

G3, Desenvolupament territorial S.L. (2010) *Estudi informatiu: Perllongament línia FGC a castellar del Vallès*. Clau: EI-TF-08249. Expedient nº IB-1990-09

ICC (2006) *Estudi de la Perillositat Geològica al Pla dels Horts, a Vallflorida i als Joncarts, Súria (Bages)*. ICC AP 036/06

INECO (2009), *Millora General. Condicionament del pas de Comiols*. Carreteres: C-14, L-512 I C-1412b. Tram: Artesa De Segre. Clau: EI-AI-02134.1. Estudi Informatiu Annex Núm. 5.- Geologia i Geotècnica. Promotor: GISA

INPSA. y DEPARTAMENTO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES y COMUNICACIONES DEL GOBIERNO DE NAVARRA. Cartografía escala 1:200.000.

ITGE (1993). *Las aguas subterráneas en España*. Estudio de síntesis. 2^a edición. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid, 591 pp. + 12 mapas.

LERÁNOZ ISTÚRIZ, B. (1990). *Geomorfología del curso bajo del río Ega (Navarra)*. I Reunión Nacional de Geomorfología, 447-455. Teruel, 1990

LOZANO VALENCIA, P.J y LOZANO VALENCIA, M.A. (2002). *Geología y geomorfología del sector oriental del macizo de Cinco villas y zonas aledañas*. Lurralde inves. Esp. 25. ISSN 1697-3070.

LLOBET, S. i GOMEZ ORTIZ, A. (1985). *El riu Ter i les seves terrasses fins a El Pastoral*. Revista de Geografia, vol. XIX. Barcelona, pp. 5-40.

MARTÍNEZ PARRA, M., MURILLO DÍAZ, J. M. (2003). *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos. Tomo I. Evolución de la contaminación marina en los acuíferos costeros del Baix Maresme (Barcelona)*. IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470-8

MARTÍNEZ PARRA, M. i MURILLO DÍAZ, J. M. (2003) *Evolución de la contaminación marina en los acuíferos costeros del Baix Tordera (Barcelona)*. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países Mediterráneos IGME. Madrid 2003. ISBN. 84-7840-470-8

MARTÍNEZ, M.; MURILLO, J.M. (2000). *Las fuentes de la Garrotxa (Girona): Un ejemplo de patrimonio hidrogeológico sobre terrenos volcánicos*. Patrimonio geológico y minero en el marco del desarrollo sostenible. Madrid, 2000. 544 Páginas. ISBN 84-7840-419-8.

NOGUERA, J.F. (2003). *Caracterización de zonas contaminadas por métodos geoquímicos: Àrea de Gavà – Viladecans (Delta del Llobregat)*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.

OBSERVATORI DEL PAISATGE (2010). *El catàleg del paisatge de les comarques gironines*. Unitat de paisatge 17: Plana de l'Empordà. Generalitat de Catalunya. Departament de Política Territorial i Obres Públiques.

PALOU, O., PUIGURIGUER, M. (2009) Sòls de la Garrotxa: "Zona Volcànica I La Vall De Bianya". *Guia de la Jornada Transcatalonia 2009*. Jornada organizada per la Secció de Sòls i la Secció d'Agricultura de la ICEA, en col·laboració amb la Delegació Catalana de la SECS

PEÑA.J.L. (1983): La Conca de Tremp y Sierras Prepirenaicas comprendidas entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana. Estudio geomorfológico. Instituto de Estudios Ilerdenses, 373 p. Lerida.

PEÑA, J.L., SANCHO, C., LEWIS, C., MCDONALD, E. i RHODES, E. (2004). *Datos cronológicos de las morrenas terminales del glaciar del Gállego y su relación con las terrazas fluvioglaciales (Pirineo de Huesca)*. Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico. Zaragoza.

PEÑA, J.L. y LOZANO, M.V. (2004). *Las unidades del relieve aragonés*. Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico. Zaragoza.

RIVERO, L., VILAS, M., PINTO V. i CASAS, A. (2001) *Modelización gravimétrica 2D de la fossa de l'Empordà*. Acta Geologica Hispanica, V. 36 (2001), Nº 1-2, P. 97-113

RODRÍGUEZ VIDAL, J. (1981). *El cuaternario al E. de Huesca*. Acta Geológica Hispánica, t. 16, nº 3, págs. 159-164.

RUBIO, V., VIGIL, R., GARCIA, R. & GONZALEZ MARTIN, I.A.(1996). *Caracterización mineralógica de sedimentos arenosos de la Cuenca del río Ara (Huesca)*. Cuaternario y Geomorfología, 10 (1-2), pág. 33-44.

RUBIO, V., EDESO, J.M. y GONZÁLEZ, M.J. (1995). *Caracterización hidrológica del río Ara a partir del estudio sedimentológico de sus depósitos*. Lurralde :inv. espac. N. 18. p. 155-171.

SÁNCHEZ-CARPINTERO, I.; VIDAL, M.; UGARTE, F.M. (1992) *Contribución al conocimiento de los depósitos detriticos pleistocenos de los montes vascos-pirineos occidentales y su relación con formaciones edáficas sur pirenaicas*. Cuadernos de Sección. Historia 20. (1992) p. 203-211 ISSN:0212-6397 Donostia: Eusko Ikaskuntza

SANCHO MARCEN, C. (1985). *El piedemonte pliocuaternario en la región del Cinca (Provs. de Huesca y Lérida): Depósitos y evolución*. Grupo Español de Trabajo del Quaternario. - Lisboa : GETC : GTPEQ, 1985. - II Volume, p. 381-392

SANCHO MARCEN, C., (1989). *Deformaciones asociadas a la actividad diapírica cuaternaria del anticlinal de Barbastro (provincia de Huesca)*. Cuaternario y Geomorfología. vol. 3 (I ·4), 35-43.

SERRA, J. VALOIS, X I PARRA D. (2007) *Estructura del prodelta de la Tordera (costa del Maresme, NO Mediterráneo) a partir del análisis sísmico de alta resolución*. Geogaceta, 41 (2007), 211-213 ISSN: 0213683X

SERRANO CAÑADAS, E. y AGUDO GARRIDO, D. (1988). *La deglaciación del valle de los ibones azules (Panticosa). Estudio glaciomorfológico*. Cuaternario y Geomorfología, vol. 2 (1-4), 115- 123.

SERRANO, E. y AGUDO C. (2004). *Glaciares rocosos y deglaciación en la alta montaña de los Pirineos aragoneses (España)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), 99 (1-4). + mapes geomorfològics.

SERRAT, D.; VILAPLANA, J. M. Y MARTI, C. E. (1983). *Sorne depositional models in glaciolacustrine environments (Southem Pyrenees)*. In: Evenson, E. B.; Schlüchter, Ch. y Rabassa, J. (Eds.): Tills and related deposits, 231-244, A. A. Balkema, Rotterdam.

SERRAT, D.; BORDONAU, J.; MONTSERRAT, J. I VILAPLANA, J. M. (1987). *Evolució paleoecológica dels darrers 100.000 anys al Pirineu Central*. Informe de la CIRIT, 26 pàgs., inèdit.

SOLÀ, J., MONTANER, J., PICART, J., BERÀSTEGUI, X., LOSANTOS, M.,, (1996) *Correlación estratigráfica entre los depósitos aluviales de los ríos Ter y Terri. Interpretación de su edad y de su relación con los depósitos carbonatados del Pla de Mata (Baix Empordà-Pla de l'Estany, Girona)*. Article Geogaceta, 20 (1) (1996), 92-95 ISSN: 0213683X

TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA) y DEPARTAMENTO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES y COMUNICACIONES DEL GOBIERNO DE NAVARRA (2002) Cartografía geológica de Navarra, escala 1:25.000.

TURU, V., PEÑA-MONNÉ, J.L., ROS, X., MARTÍ-BONO, C. y CONSTANTE-ORRIOS, A. (2007). *Prospección geofísica y geomecánica de la ribera de Biescas (Pirineos*

Centrales): Estructura del relleno sedimentario del fondo del valle glaciar. Resúmenes XII Reunión Nacional de Cuaternario, Ávila.

TURU I MICHELS, V., PEÑA MONNÉ, J. L. (2006). *Ensayo de reconstrucción cuaternaria de los valles del Segre-Valira,(Andorra-La Seu d'Urgell-Organyà, Pirineos Orientales).* Parte II: morrenas y terrazas fluviales; GEOMORFOLOGIA Y TERRITORIO, Universidad de Santiago de Compostela, (Editores Augusto Pérez-Alberti y Juan López-Bedoya), IX Reunión Nacional de Geomorfología, 129-148 pp

VEHÍ CASELLAS, M. (2001). *Geologia ambiental de la depressió de la selva.* Tesi doctoral B-31006-2002 / 84-699-8838-7. UAB. Capítol 5 Marc geològic.

VENTURA ROCA, J. (2010). *Geomorfologia de les Planes de Son i la mata de València: la influencia del modelat glacial i periglacial.* A: GERMAIN, J. [cur.]. *Els sistemes naturals de les Planes de Son i la mata de València.* Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural. (Treballs de la Institució Catalana d'Història Natural; 16), p. 77-126.

VILANOVA MUSET, E. (2004) *Anàlisi dels sistemes de flux a l'àrea Gavarres-Selva-Baix Empordà. Proposta de model Hidrodinàmic regional.* Tesi Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geologia. ISBN: 846887819

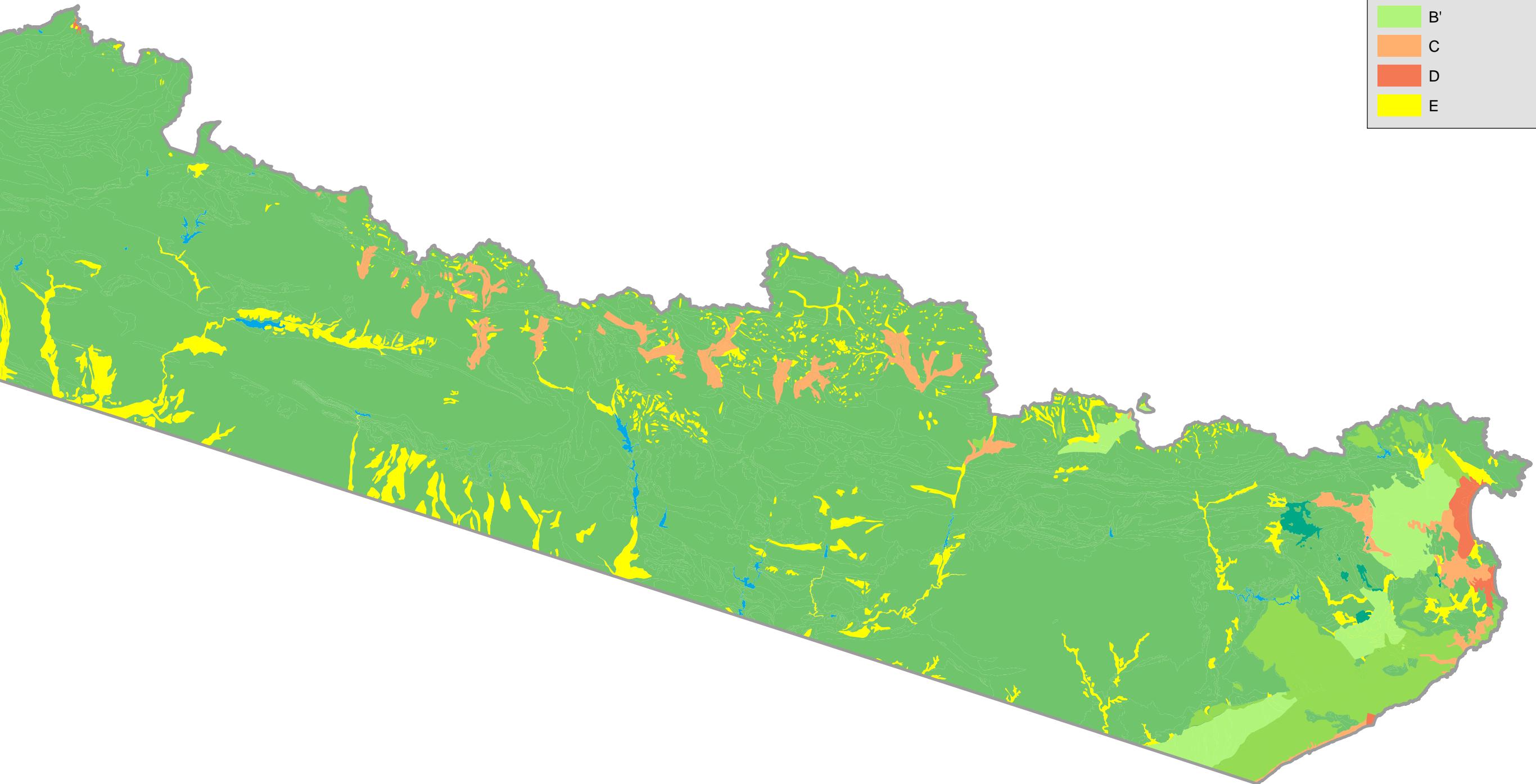
VILAPLANA, J.M. (1982). *Estudi del glacierisme quaternari de les Altes Valls de la Ribagorça.* Tesis doctoral. Universitat de Barcelona

VILAPLANA, J. M. I CASAS, A. (1983). *Las cubetas de sobreexcavación glacial de Bono y Barruera (Alta Ribagorza: Pirineo Central).* Cuadernos del Laboratorio Xeológico de Laxe, 6, 283-309.

VILAPLANA, J.M., SCHLÜCHTER, CH. I VERDAGUER A. (1983). *Sedimentology and Stratigraphy of the Pleistocene sediments in Lake Llauset (Southern Pyrenees, Spain)-a first approach.* Acta Geológica Hispánica, t. 18, nº. 3/4, pags. 235-248.

ANNEXES

Annex I: Mapa geomècànic del sector ibèric



SISPYR. SÍNTESI DELS DIPÒSITS QUATERNARIS I CUBETES NEÒGENES EN EL SECTOR IBÈRIC (GUIPÚSCOA, NAVARRA, ARAGÓ I CATALUNYA)

ESCALA ORIGINAL
1:400.000

ESCALA DE REPRESENTACIÓ
1:1.200.000
ORIGINALS A3

NOM DEL MAPA
MAPA GEOMECÀNIC DEL SECTOR IBÈRIC (EC-8)

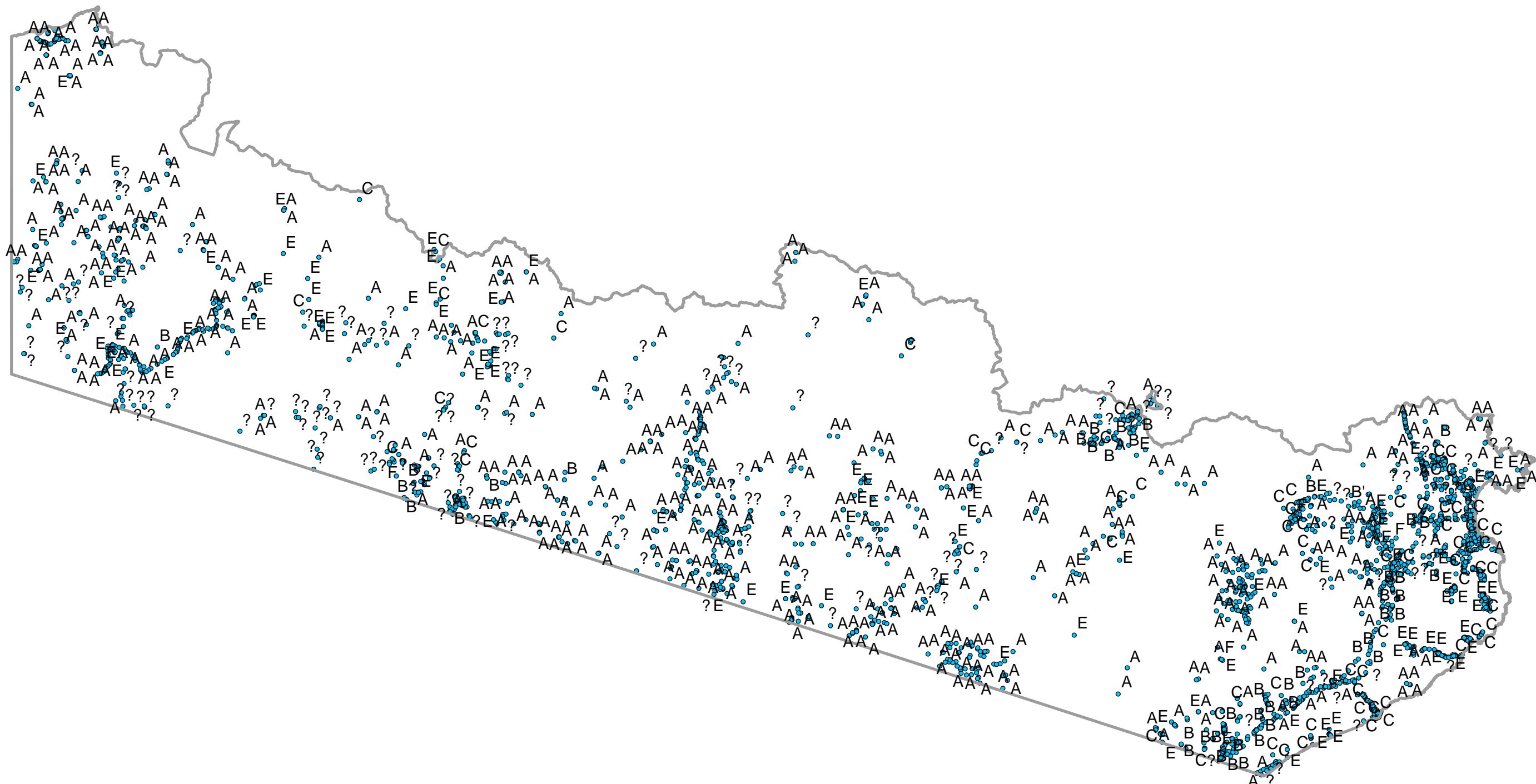
0 10 20 40 km

Annex II: Plànol de sondatges bibliogràfics del sector ibèric



Llegenda

- Sondatges bibliogràfics (classificació EC-8)



SISPyr. SÍNTESI DELS DIPÒSITS QUATERNARIS I CUBETES NEÒGENES EN EL SECTOR IBÈRIC (GUIPÚSCOA, NAVARRA, ARAGÓ I CATALUNYA)

ESCALA ORIGINAL
1:400.000

ESCALA DE REPRESENTACIÓ
1:1.200.000
ORIGINALS A3

NOM DEL MAPA

SONDATGES BIBLIOGRÀFICS
DEL SECTOR IBÈRIC

0 10 20 40
km

Annex III: Classificació litològica de les unitats geològiques

Mapa	Descripció geològica de les unitats	Classificació litològica
Quaternary Map	Reblert deltaic fluvio-marí de planes litorals baixes: Llots i llims	VSS
Quaternary Map	Morrenes de l'estadi principal (màxima extensió de les glaceres)	SS
Quaternary Map	Glacis baixos, correlatius a les terrasses mitjanes	SS
Quaternary Map	Sòcol granític molt alterat (sorres arcòsiques)	SR
Quaternary Map	Colades basàltiques	HR
Quaternary Map	Al·luvial o col·luvial (Plistocè superior - Holocè)	SS
Quaternary Map	Dunes holocenes i cordons litorals actuals o recents	SS / VSS
Quaternary Map	Desprendiments	SS
Quaternary Map	Cursos majors actius i planes al·luvials holocenes de fons de vall: Extensió i gruix molt gran (20-30 m dels que, localment, 10 m són dipòsits antics) a les planes baixes de l'Aude i del Rosselló - Empordà	SS
Quaternary Map	Morrenes d'altitud de la fase de disjunció	SS
Quaternary Map	Sistema morrènic dels circs i glaceres rocoses (Tardiglaciar i localment Holocè)	SS
Quaternary Map	T5 - Terrassa més alta culminant: Formació de Lannemezan i mantell culminant del País Basc. Es correspon als glacis plio-quaternaris del vessant sud (alts nivells encrostats de la Conca de l'Ebre) (Plio-quaternari antic)	SS
Quaternary Map	T4 - Terrasses altes profundament alterades i rubefactades (Quaternari antic): Corredors alts de Quaternari antic del peu demont normes pirinenc, tipus Limandous	SS
Quaternary Map	T3 - Terrasses mitges profundament alterades i rubefactades, algunes vegades desdoblades	SS
Quaternary Map	T2 - Terrassa baixa mitjanament alterada: Terrassa fluvio-glacial principal de les grans valls, contemporània de l'avantpenúltim màxim glacial (Riss)	SS
Quaternary Map	T1 - Terrassa baixa poc o sense alterar: Mantell fluvio-glacial associat a les morrenes frontals del <i>wurm</i> . Diversos nivells sense diferenciar	SS
Quaternary Map	Dipòsits glacials antics	SS
Quaternary Map	Aparells volcànics	HR
Quaternary Map	Aiguamolls	VSS
Quaternary Map	Recobriments morrènics discontinus	SS
Quaternary Map	Grans solifluxions (colades de fang del País Basc i colades margoses de la Serra del Montsec)	SS

Mapa	Descripció geològica de les unitats	Classificació litològica
Quaternary Map	Cons i cordons d'arrossegalls holocens a la Conca de l'Ebre. Glacis (Holocè)	SS
Quaternary Map	Vessants recobertes per col·luvions sobre morrenes del final de la fase de disjunció, normalment en exposició sud	SS
Quaternary Map	Glacis alts, correlatius amb les terrasses altes amb encrostament calcari i fortament dissectadors	SS
Quaternary Map	Recobriments morrènics discontinus, morrenes de fons, blocs erràtics	SS
Quaternary Map	Dipòsits fluvio-lacustres d'obturació lateral a l'inici del retrocés glacial	SS
Quaternary Map	Dipòsits lacustres	SS
Geological Map	Dipòsits actuals dels rius: Sorres, argiles, graves i conglomerats	SS
Geological Map	Dunes i cordons litorals actuals: Sorres i llims	SS / VSS
Geological Map	Dipòsits fluvials o marins lacunars: Llots i llims	SS / VSS
Geological Map	Terrasses fluvials: Argiles, sorres, graves, conglomerats	SS
Geological Map	Morrenes	SS
Geological Map	Basalts i piroclastos basàltics	HR
Geological Map	Arenes, gravetes, conglomerats i argiles	SS
Geological Map	Colades de basalt	HR
Geological Map	Margues, argiles, sorres, conglomerats i guixos	SR
Geological Map	Conglomerats. Fàcies apicals de ventalls al·luvials	SR
Geological Map	Margues, gresos i conglomerats. Localment intercalacions de guixos i calcàries	SR
Geological Map	Fàcies lacustres amb abundants nivells de calcàries	HR
Geological Map	Guixos, sals a Cardona	HR
Geological Map	Conglomerats. Fàcies de ventalls deltaics i al·luvials	HR
Geological Map	Margues, argiles, gresos i conglomerats vermellos	HR
Geological Map	Margues blaves	HR
Geological Map	Margues, limolites, gresos i calcàries amb corals	HR
Geological Map	Calcàries bioclastiques. Fàcies de plataforma carbonàtiques	HR
Geological Map	Margues, limolites i arenoses. Fàcies deltaiques	HR
Geological Map	Margues blaves incloent evaporites a la base. Fàcies de centre de conca i de prodelta	HR
Geological Map	Margues, argiles, gresos i conglomerats vermellos	HR

Mapa	Descripció geològica de les unitats	Classificació litològica
Geological Map	Conglomerats. Fàcies de ventall deltaic i al·luvial	HR
Geological Map	Margues, gresos i conglomerats en fàcies marines someres; fluvial a la base	HR
Geological Map	Turbidites siliciclàstiques, bretxes de calcàries i olistostromes	HR
Geological Map	Calcàries i gresos calcàries. Plataforma carbonatada mixta	HR
Geological Map	Margues, limolites i arenoses en fàcies marines someres	HR
Geological Map	Margues, argiles i conglomerats vermells	HR
Geological Map	Margues i calcàries margoses, fàcies marines: prodelta i rampes distals	HR
Geological Map	Dolomies i calcàries de plataforma	HR
Geological Map	Margues, argiles, gresos i conglomerats vermells basals	HR
Geological Map	Calcàries, margues, argiles i gresos	HR
Geological Map	Flysch: Calco-esquistes, margues, esquistos i conglomerats	HR
Geological Map	Margues, gresos i calcàries	HR
Geological Map	Calcàries, margues, dolomies i conglomerats	HR
Geological Map	Ofites i dolorites	HR
Geological Map	Gresos, margues, dolomies, argiles i evaporites	HR
Geological Map	Gresos conglomeràtics, esquistes	HR
Geological Map	Gresos conglomeràtics, esquistes, margues, dolomies, argiles, evaporites	HR
Geological Map	Gresos conglomeràtics, pelites	HR
Geological Map	Vulcanisme permià: Rhyodacitas, andesites i basalts	HR
Geological Map	Gresos, conglomerats, esquistes, carbó, tufites	HR
Geological Map	Gresos, conglomerats, esquistes, vulcanites	HR
Geological Map	Leucogranit a granodiorita	HR
Geological Map	Granitoids indiferenciats	HR
Geological Map	Gabres, diorites i tonalites	HR
Geological Map	Leucogranits alumínics	HR
Geological Map	Monzogranit, granodiorites, charnockitas	HR
Geological Map	Monzogranit, granodiorites calcoalcalinas	HR
Geological Map	Sèries condensades (carbonats i silexitas), calcàries de plataforma i turbidites en fàcies fines amb <i>debris flows</i> i olistostromes de carbonats intercalats (fàcies <i>culm</i>)	HR

Mapa	Descripció geològica de les unitats	Classificació litològica
Geological Map	Sèrie marina condensada, calcàries noduloses i silexitas, del Devonià superior (domini de Cinco Villas)	HR
Geological Map	Sèries marines proximals amb predomini de quarsites i calcàries amb corals (domini de Alduides)	HR
Geological Map	Sèries marines mixtes detritic-carbonatades (dominis de Sallent, Serra Negra, Baliera)	HR
Geological Map	Sèries marines amb predomini detritic (domini central)	HR
Geological Map	Sèries marines amb predomini de carbonats, que inclouen sèries condensades en el Devonià mitjà i superior	HR
Geological Map	Pissarres ampelítiques amb intercalacions sorrenques i nivells de calcàries negres a la part superior	HR
Geological Map	Conglomerats, roques volcanoclàstica, gresos, esquists, calcàries i quarsites	HR
Geological Map	Vulcanisme àcid del Pirineu oriental i Catalànids	HR
Geological Map	Quarsites, esquists i gresos	HR
Geological Map	Ortogneis	HR
Geological Map	Limolites i esquists bandejats (Formació Jujols)	HR
Geological Map	Lutites, gresos fines, calcàries (Formació d'Evol, membre inferior)	HR
Geological Map	Lutites, gresos fines, calcàries (Formació 'Evol, membre superior)	HR
Geological Map	Formació 'Evol indiferenciada (inclou Formació Jujols en serralades Costaneres Catalanes)	HR
Geological Map	Esquists, pelites, calcàries i dolomies, roques vulcano-sedimentàries	HR
Geological Map	Kinzigitas. Migmatita paraderivades	HR

Appendix 2

BSS – French Borehole database valorisation

In France 5258 boreholes are collected and data organized in order to approach main geometry. Each borehole is described as a soil column in EC8 main classes (A, B, C, D) without taking account the geometry.

Knowledge of thickness of each layer permit to allow EC-8 class to each boreholes (except Cx class with low depth):

		EC8 Soil class							
Borehole class	Log	A	B	B'	C	E	E'	F	
A	A-EC8	X							
BA	B-EC8		X	X					
	A-EC8								
Bx	B-EC8		X	X					
	?	?							
CA	C-EC8		X			X	X		X
	A-EC8								
CBA	C-EC8		X	X	X	X	X	X	X
	B-EC8								
	A-EC8								
CBx	C-EC8		X	X	X		X	X	
	B-EC8								
	?	?							
Cx	C-EC8					X			X
	?	?							

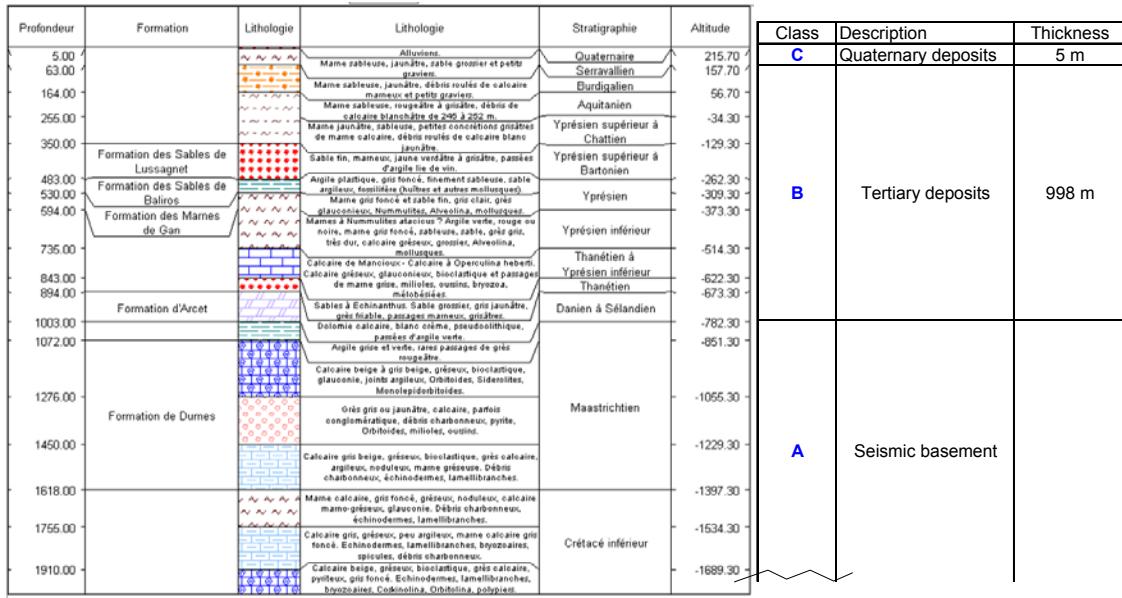
Boreholes synthetic classification (FR)

Some examples of the treatment of boreholes are presented herebelow:

SISPYR / Interreg IVA

BSS_ID | 10961X0011/F1

CBA C < 20 m
AND
B > 100 m → **B'**

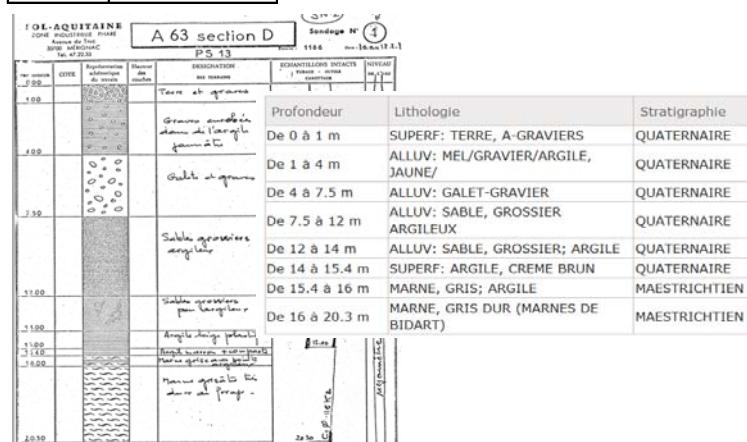


BSS_ID | 10533X0047/S

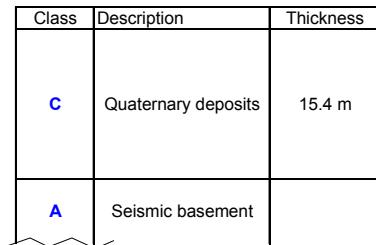
CBA C + B < 5 m → **A**



BSS_ID | 10017X0032/PS13



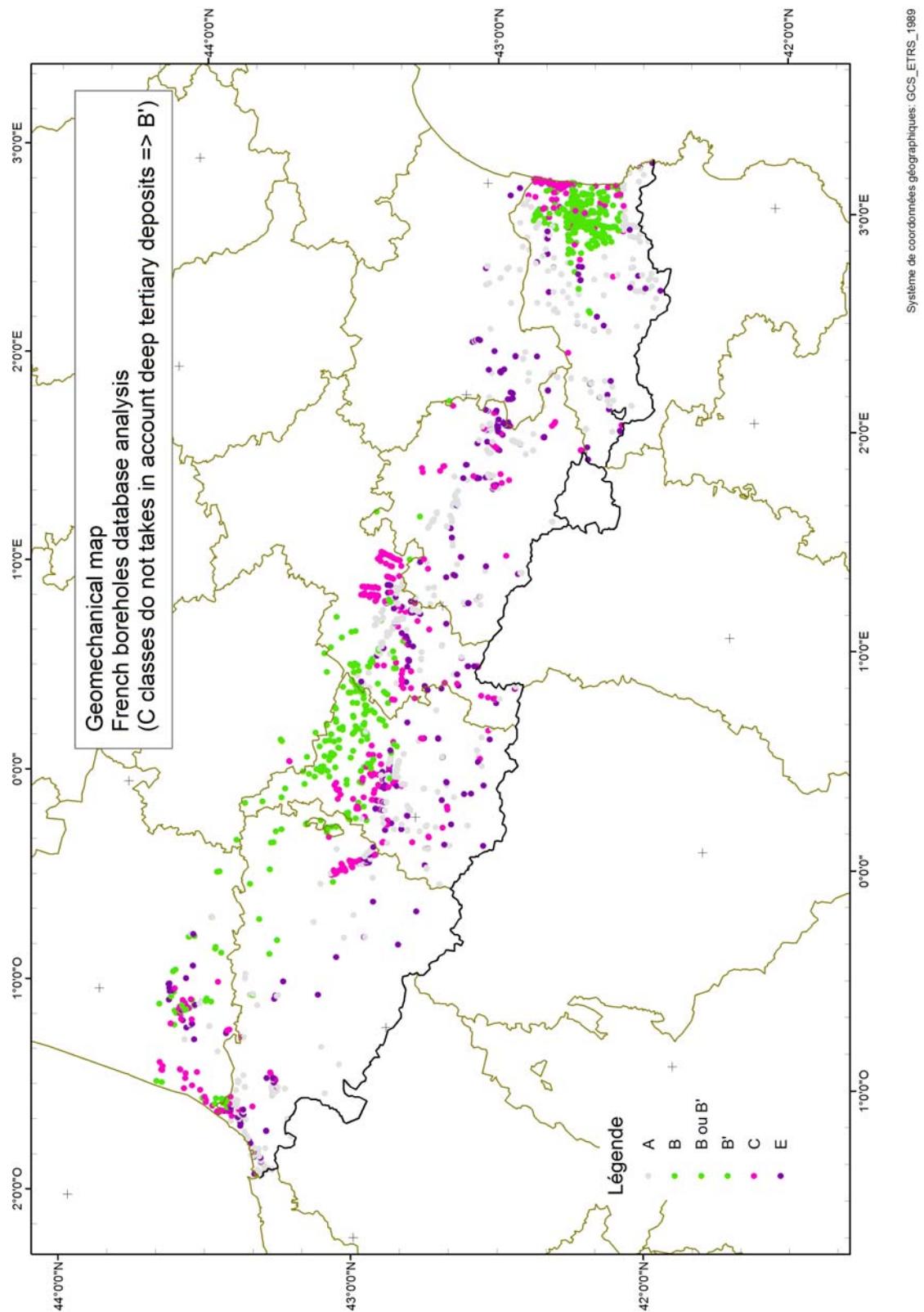
CA 5 m < C < 20 m → **E**



Date of each borehole is integrated in geo-database for the French part of study in order to compare geological zonation and boreholes data.

	A	B	C	D	E	F	H	I	J	K
1	NUM_NATIONAL	LOG_VU	PROF1	XL2E	YL2E	EC8	COLO_EC8	EP_C	EP_B	EP_B+CSOND
1532	10944X0038/PUI_G		7.1	581307.3	1730871.4	?	Cx	7.1	-999	7.1
1533	10944X0039/PUI_H		11.9	581245.5	1731105.6	?	Cx	11.9	-999	11.9
1534	10944X0040/MTML16		22	581543.3	1730277.6	A	CA	2.5	0	2.5
1535	10944X0041/MTML_8		30	581148	1730828.2	C	CBx	16	14	30
1536	10944X0042/MTML_7		35	581228.8	1730714.6	B	CBA	10.5	19	29.5
1537	10944X0043/MTML_6		15.6	581274.8	1730653.9	E	CA	8.4	0	8.4
1538	10944X0044/MTML12		19.5	581266.4	1730630.9	E	CA	12.75	0	12.75
1539	10944X0045/MTML_9		31	581546.5	1730297.3	E	CA	8.5	0	8.5
1540	10944X0046/MTML_5		10.8	581510.3	1730318.4	A	CA	4.9	0	4.9
1541	10944X0047/MTML_4		5.5	581492.2	1730343.7	A	CA	2	0	2
1542	10944X0048/MTML13		11.5	581466.9	1730374.6	A	CA	3.55	0	3.55
1543	10944X0049/MTML11		17.5	581499.8	1730442	A	CA	3	0	3
1544	10944X0050/MTML15		24	581477.5	1730308.6	A	CA	3	0	3
1545	10944X0051/MTML10		14.5	581515.6	1730384.9	E	CA	7.6	0	7.6
1546	10944X0052/MTML_2		16.5	581431.9	1730357	E	CA	10.15	0	10.15
1547	10944X0053/MTML_1		27.5	581443.9	1730335.7	A	CA	4.25	0	4.25
1548	10944X0054/MTML17		22.65	581078.3	1730913.2	C	CBx	19.65	3	22.65
1549	10944X0055/MICALE		120	578232.1	1730232.1	A	A	0	0	0
1550	10944X0056/ANGLEA		150	578221.1	1730222.1	A	A	0	0	0
1551	10945X0001/S		19.95	556901	1729368	E	CA	6.35	0	6.35
1552	10946X0008/FRANC1		18	563744.4	1720405.2	A	A	0	0	0
1553	10946X0009/FRANC2		84	563734.4	1720405.2	A	A	0	0	0
1554	10947X0002/S		5.5	575870	1723320	A	CA	0.5	0	0.5
1555	10947X0016/R1		12	575693	1722568	?	Cx	12	-999	12
1556	10947X0018/F		134	572190	1722420	E	CA	6.5	0	6.5
1557	10947X0019/RECCAL		180	577694.9	1723658	E	CA	18	0	18
1558	10947X0020/ARTEUS	x	208	575833.7	1721087.5			0	0	0
1559	10947X0021/S1		3.3	576780	1723340			1.7	0	1.7
1560	10947X0022/S2		3					1.95	0	1.85
1561	10947X0023/S3		5							
1562	10947X0024/S4		4							
1563	10947X0025/S5		2	575540	1723365	?	Cx	2	-999	2
1564	10947X0026/S6		2	575599	1723488	?	Cx	2	-999	2
1565	10947X0027/S7		3.2	575670	1723380	A	CA	0.5	0	0.5
1566	10947X0028/S8		3	575700	1723420	A	CA	2.5	0	2.5
1567	10947X0029/S9		2.2	575671	1723283	?	Cx	2.2	-999	2.2
1568	10947X0030/S10		3	575689	1723252	A	CA	2	0	2
1569	10947X0031/S11		3.2	575740	1723260	A	CA	2	0	2
1570	10947X0032/S12		3	575714	1723371	?	Cx	3	-999	3
1571	10947X0033/S13		3	575747	1723379	A	CA	2.1	0	2.1
1572	10947X0034/S15		1.2	575752	1723367	?	Cx	1.2	-999	1.2
1573	10947X0035/S16		2.2	575563	1723329	A	CA	2.1	0	2.1
1574	10947X0036/S17		2	575646	1723227	A	CA	1.8	0	1.8
1575	10947X0037/S18		2.3	575550	1723230	A	CA	1.9	0	1.9
1576	10947X0038/S20		1.5	575434	1723340	?	Cx	1.5	-999	1.5
1577	10947X0039/S21		2	575476	1723279	?	Cx	2	-999	2
1578	10947X0040/S13RIS		6	575751	17233423	A	CA	?	n	?

Boreholes database (FR)



Boreholes valorisation map (FR)

A41 – Shake-map / Site effect corrections

Appendix 3

EC8 Classification & geotechnical parameters

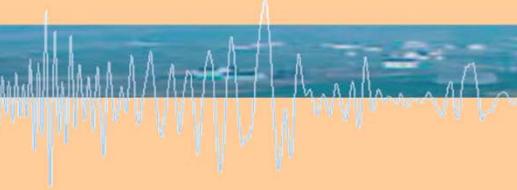
CORRESPONDANCES ENTRE LES TROIS PRINCIPAUX TYPES DE SOL DEFINIS DANS L'EC-8 ET LES PARAMETRES GEOTECHNIQUES.

Catégories de site dans l'EC-8		Données géotechniques			
Catégorie de site	Description	Type de sol	Pénétromètre statique : Résistance (MPa)	Pressiomètre (MPa) : Module	Pression limite
A Sols de bonne à très bonne résistance mécanique	Rocher ou autre formation géologique caractérisée par une vitesse $V_s > 800$ m/s, comportant une couche superficielle d'eau plus 5m de matériau moins résistant.	---	---	> 100	> 5
	Dépôts raides de sable, de gravier et d'argile surconsolidée, d'eau moins quelques dizaines de mètres d'épaisseur, caractérisés par une augmentation progressive des propriétés mécaniques avec la profondeur (avec $V_s \geq 400$ m/s à 10 m de profondeur).	sols granulaires compacts	> 15 à partir de 10 m de prof.	> 20 à partir de 10 m de prof.	> 2 à partir de 10 m de prof.
		sols cohérents (argiles ou marnes dures)	> 5 à partir de 10 m de prof.	> 25 à partir de 10 m de prof.	
B Sols de résistance mécanique moyenne	Dépôts profonds de sable de densité moyenne, de gravier ou d'argile moyennement raide, ayant des épaisseurs de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres, caractérisés par $V_s \geq 200$ m/s à 10 m de profondeur, augmentant jusqu'à 350 m/s au moins à une profondeur de 50 m.	sols granulaires moyennement compacts	5 à 15 à partir de 10 m de prof. et > 15 à partir de 50 m	6 à 20 à partir de 10 m de prof. et > 20 à partir de 50 m	1 à 2 à partir de 10 m de prof. et > 2 à partir de 50 m
		sols cohérents moyennement consistants et craies tendres	1,5 à 5 à partir de 10 m de prof. et > 5 à partir de 50 m	5 à 25 à partir de 10 m de prof. et > 25 à partir de 50 m	0,5 à 2 à partir de 10 m de prof. et > 2 à partir de 50 m
C Sols de faible résistance mécanique	Dépôts de sol lâche, sans cohésion, avec ou sans couches cohérentes molles, caractérisés par $V_s < 200$ m/s sur les premiers 20 mètres.	sols granulaires lâches	< 5 sur les premiers 20m.	< 6 sur les premiers 20 m.	< 1 sur les premiers 20 m.
	Dépôts comprenant une majorité de sols cohérents de raideur faible à moyenne, caractérisés par $V_s < 200$ m/s sur les premiers 20 mètres.	sols cohérents mous (argiles molles ou vases) et craies altérées	< 1,5 sur les premiers 20m.	< 5 sur les premiers 20 m.	< 0,5 sur les premiers 20 m.

NB : Pour les autres catégories de sites (cas spéciaux de l'Eurocode 8 définis aux paragraphes 4.2.2.(3), 4.2.2.(4), 4.2.2.(5) de la Partie 1.1), une étude détaillée est requise.

Appendix 4

Presentation EuReGeo – Bologna 2011 “Geological based seismic macrozonation of Pyrenees”



7th EUREGEO

EUropean
Congress
on REgional
GEOscientific
Cartography
and



Sustainable
Information
Systems
Geo Management

Bologna, 2012-06-14

GEOLOGICAL BASED SEISMIC MACROZONATION FOR PYRENEES

COLAS Bastien ⁽¹⁾; GARCÍA Iván ⁽²⁾, BUXÓ Pere ⁽²⁾, ROULLÉ Agathe ⁽¹⁾ and GOULA Xavier ⁽³⁾

(1) BRGM, Montpellier (France). b.colas@brgm.fr, a.roulle@brgm.fr

(2) GEOCAT Gestió de Projectes. S.A., Barcelona (Spain) igarcia@ggp.cat, pbuxo@ggp.cat

(3) Institut Geològic de Catalunya, Barcelona (Spain). xgoula@igc.cat



Géosciences pour une Terre durable
brgm

- ✓ **CONTEXT: SISPYR PROJECT**
- ✓ **BACKGROUND FOR SEISMIC ZONATION**
 - Microzonation / Macrozonation
 - Proxys used for zonation
- ✓ **SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES**
 - Available homogeneous data
 - Method applied
 - Results
 - Back analysis





CONTEXT

✓ **INTERREG IVA France-Spain-Andorra 2007-2013**

✓ **HEADFILE:** IGC (Sp) — 

✓ **PARTNERS:**

■ OMP (Toulouse P. Sabatier University)



■ BRGM

■ IGN

■ UPC



✓ **DURATION:** 09-2009 / 12/2012

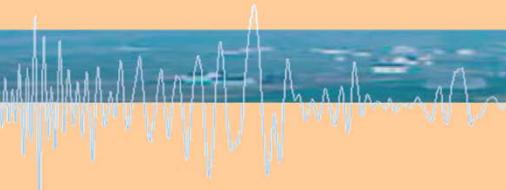
✓ **FINANCIAL SUPPORT:**

■ FEDER

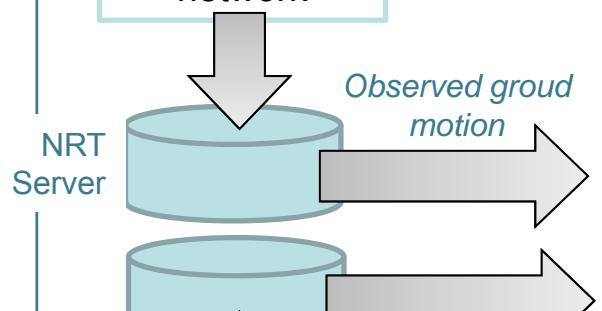
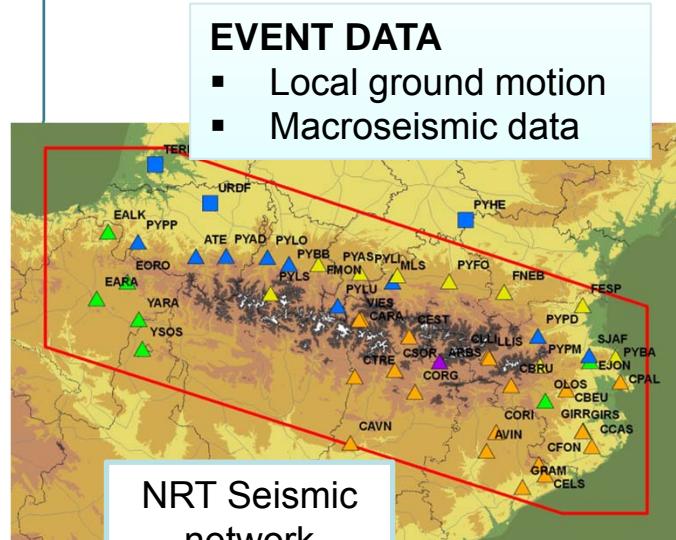
■ LANGUEDOC-ROUSSILLON REGION (Fr)



- ✓ **Seismic data acquisition, exchange & sharing**
 - RT cross-border seismic observation network development
 - Data exchange protocols
- ✓ **Seismic hazard knowledge**
 - Work on source in the Pyrenean context, moment tensors
- ✓ **Seismic risk management**
 - Prevention: seismic scenarios
 - Preparation to crisis management:
Pyrenean shake-map & EWS
- ✓ **Dissemination (www.sispyr.eu)**



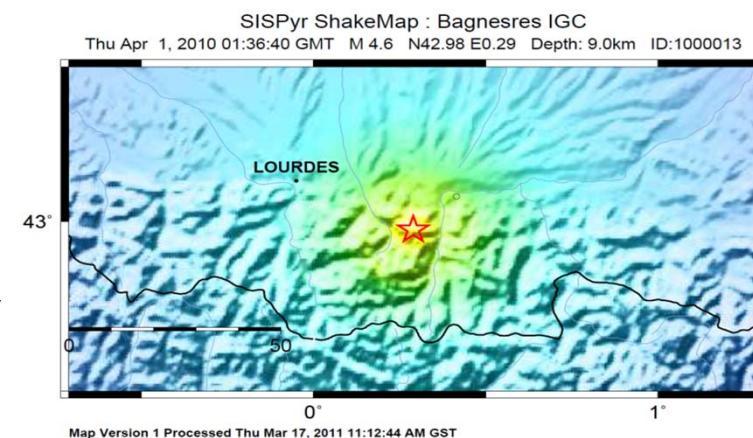
CONTEXT



On-line macroseismic testimonies
(IGC/IGN/BCSF)

✓ Automatic cross-border Pyrenean SHAKE-MAP

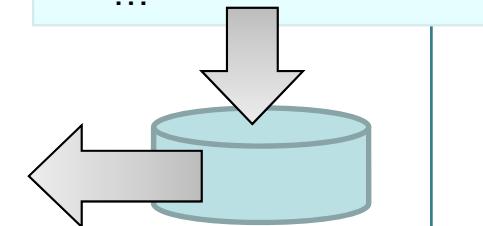
TRIGGER AUTOMATIC EARTHQUAKE REGISTRATION



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC. (%g)	< .17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

PERMANENT DATA

- Attenuation laws
- **Amplification map**
- ...





BACKGROUND

✓ CONTEXT: SISPYR PROJECT

✓ BACKGROUND FOR SEISMIC ZONATION

- Microzonation / Macrozonation
- Proxys used for zonation

✓ SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

- Available homogeneous data
- Method applied
- Results
- Back analysis





MICROZONATION / MACROZONATION

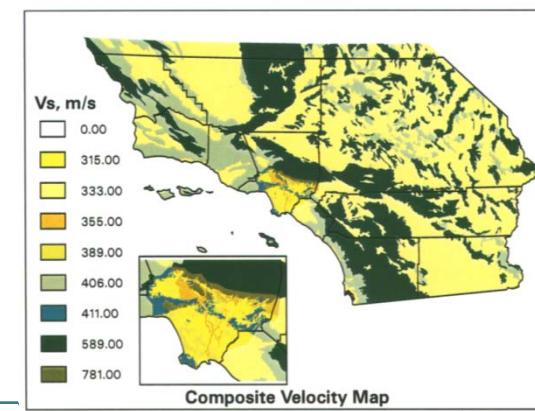
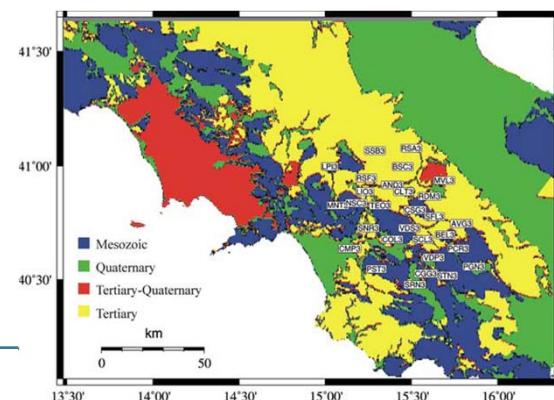
- Scale of work
 - Micro: municipality scale 1:10 000 to 1:25 000
 - Macro: regional scale up to 1:100 000 ... country
- Means
 - Micro: field investigations, quantitative assessment
 - Macro: research of proxys
- Valorization
 - Micro: seismic rules for building
 - Macro: prevention & information

EC8 rules are mainly based on V_{s30}
assessment for soil zonation → proxys ?



✓ PROXYS USED

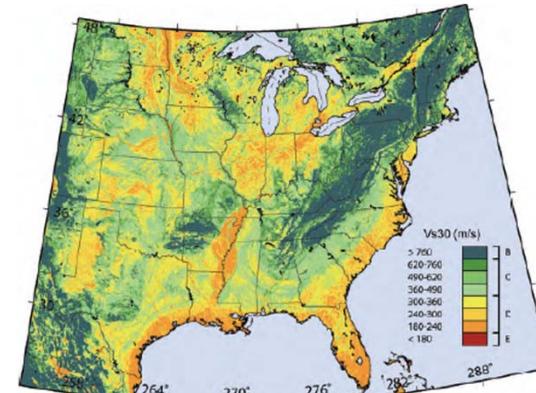
- Geology – Terrain types
 - Joyner et al. (1981)
 - Tinsley & Fumal (1985) ... mapped quaternary deposits in the Los Angeles basin
 - Park & Elrick (1998) : Quaternary Tertiary Mesozoic (QTM)-based VS₃₀ map grouped into nine units of VS₃₀ values.
 - Wills & Clahan (2006) Map geologically defined site conditions category in California
 - Matsuoka et al. (2006): average shearwaves
 - Convertito & al. (2009)



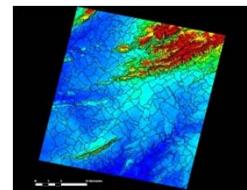
BACKGROUND

✓ PROXYS USED

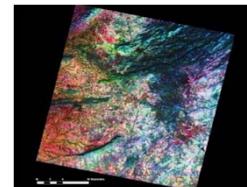
- Slope gradient
 - Wald & Allen (2007)
- Hybrid methods:
 - Geomorphometry & Geology: Yong et al. (2008)
Iwahashi & Pike (2007)
 - Slope gradient & geology: Thompson & Wald (2012)



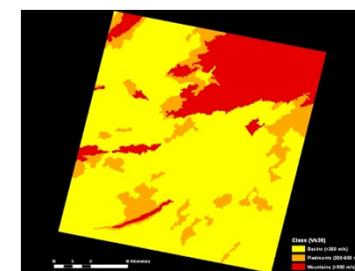
Terrain
Types
DEM



+ Spectral
Analysis



=



Satellite
based
Vs30 Map



- Slope gradient & geology: Thompson & Wald (2012)



BACKGROUND

✓ SITE EFFECTS METHODS USED IN SHAKE-MAP IMPLEMENTATIONS

Region	Site effects
Global	Topographic slope Wald and Allen (2007) Amplification: Borcherdt (1994)
South California, default regression	Vs30: Wills et al.(2000) Amplification: Borcherdt (1994)
North California, default regression	Vs30: Wills et al.(2000) Amplification: Borcherdt (1994)
California	Vs30: Wills et al.(2000); and Wentworth (?)
New Madrid	Vs30: Bauer et al. (2001) Amplification: Borcherdt (1994)
Ontario	Assume vertical component doesn't have amplification. Use H/V relations for each station for obtain the horizontal component. A rock site relation is assumed for no data stations.
Utah	Vs30: Ashland (2001), Ashland and McDonald (2003). Amplification: Borcherdt (1994)
Italy	Geology simplification based on EC8. Amplification: Borcherdt (1994)
Southeastern Alps	Geology simplification. Basic resolution. Amplification: Borcherdt (1994)
Romania	Topographic slope Wald and Allen (2007)
Romania (Vrancea)	New method: determines the amplification functions from seismological information.

SISPYR method is based on a site condition map derived from geological map

Vs30 are deduced as a proxy from EC8 classification

Vs30 deduced from topographic slopes are not valorised

Amplification factors (Fa/Fv) derived from Borcherdt (1994)



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ CONTEXT: SISPYR PROJECT

✓ BACKGROUND FOR SEISMIC ZONATION

- Microzonation / Macrozonation
- Proxys used for zonation

✓ SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

- Available homogeneous data
- Method applied
- Results
- Back analysis



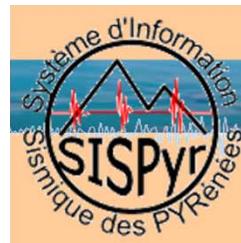
SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES



AVAILABLE HOMOGENEOUS DATA

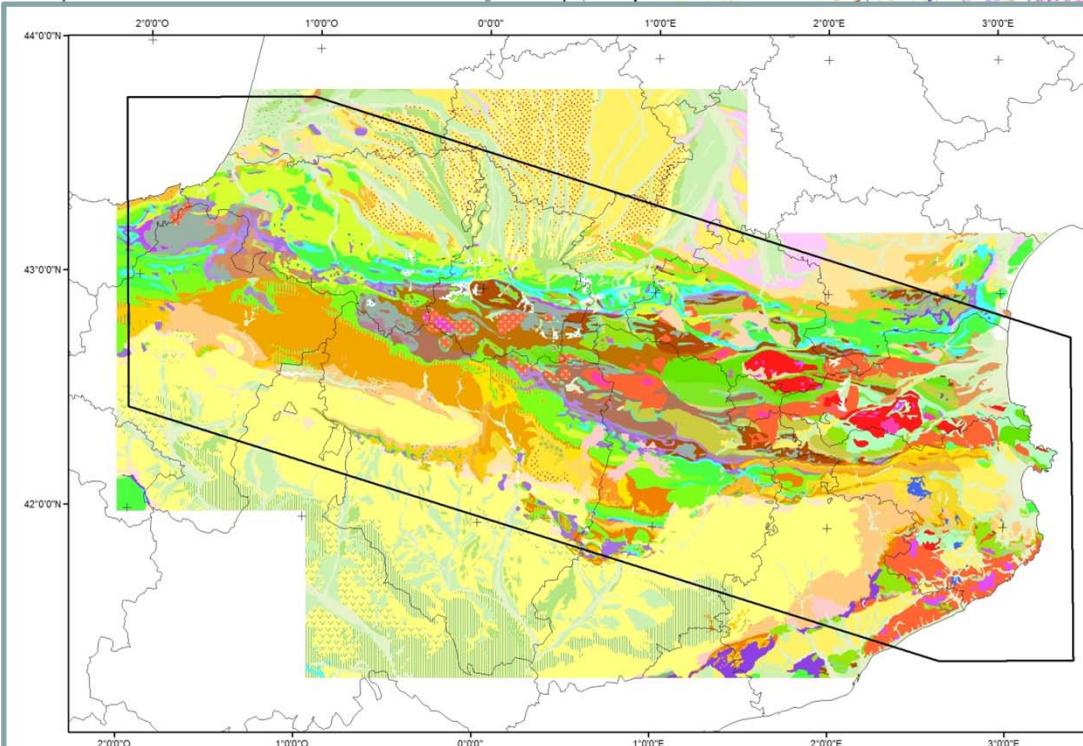
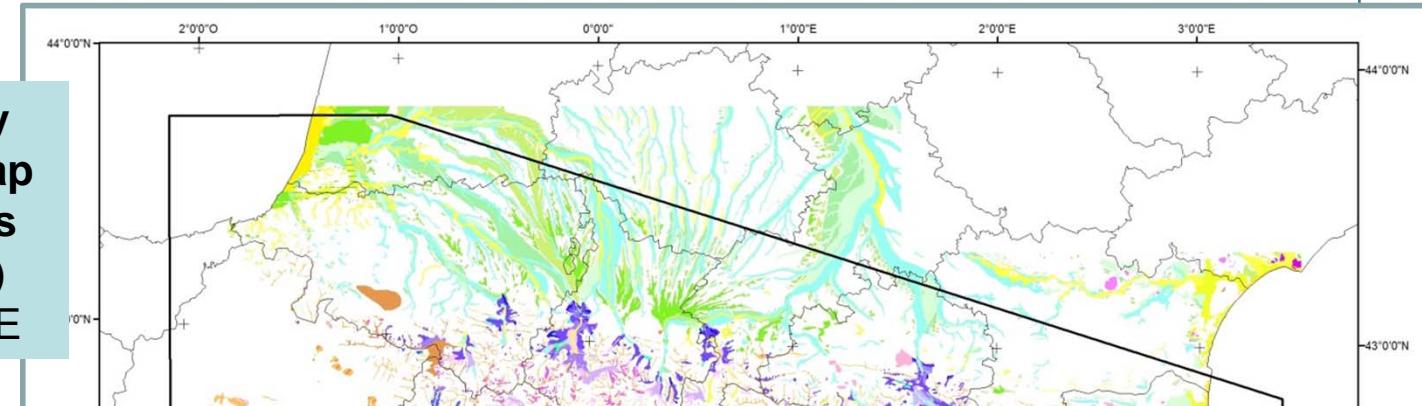
- Scale of work : 1:500 000 (500 m grid mesh)
- Geological & Quaternary deposits map 1:400 000 scale (IGME & BRGM) for all Pyrenees
- Geomechanical data
 - Study about a V_{s30} map of France (Wald and Allen methodology) 2007
 - Boreholes databases:
 - French BSS (<http://infoterre.brgm.fr/>)
 - borehole from Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM)
 - borehole from Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) and Agència Catalana de l'Aigua (ACA)
- Bibliographic resources





SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

Quaternary
deposits map
of Pyrenees
(1:400 000)
BRGM-IGME



Geological map
of Pyrenees
(1:400 000)
BRGM-IGME



Géosciences pour une Terre durable
brgm

SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

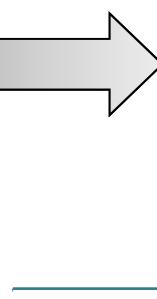
✓ METHOD

- Hybrid method based on terrain type & thicknesses
- Site condition map is defined from EC8 site classification defined from several parameters:

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	—	—
B	Deposits of very dense sand, gravel or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			

- Lithology ○
- Geometry ○
- Compacity ○
- Geotechnical data
- Shear wave velocity

Main objective: qualify lithology / compacity / geometry for all territory



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ METHOD

- 2 main steps:
 - Define a lithological classification (terrain types)
 - Determine the thickness attributes from geological regional context
- Lithological classification is adapted from works:

Terrain
types

SOIL TYPE	Mainly Vs is...
HARD ROCK (HR)	> 800 m/s
SOFT ROCK (SR)	360 m/s < Vs < 800 m/s
ALTERED ROCK (Sra)	360 m/s < Vs < 800 m/s
SOFT SOIL (SS)	180 m/s < Vs < 360 m/s
VERY SOFT SOIL (VSS)	< 180 m/s

Boore & al. 1993
Convertito 2009



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ METHOD

TYPE	AGE & CONTEXTE	LITHOLOGIE	1:400 000 MAPS	
			GEOL	QUAT
VSS	QUATERNAIRE	VASE LITTORALES (VASE)	x	x
SS	QUATERNAIRE	MORAINES (BLOCS) CORDONS LITTORAUX (SABLE) ALLUVIONS (SABLE, GRAVIER) COLLUVIONS (ARGILE, BLOCS, LOESS)	x x x x	x x x x
Sra	-	ARENE		x
SR	TERTIAIRE NORD-PYRENEEN	ARGILE MARNE POUDINGUE SABLE	x x x x	
	TERTIAIRE SUD-PYRENEEN	MARNE	x	
HR	QUATERNAIRE	BASALTE	x	
	TERTIAIRE NORD-PYRENEEN	CALCAIRE CONGLOMERAT	x x	
	TERTIAIRE SUD-PYRENEEN	CALCAIRE CONGLOMERAT GYPSE MARNE TURBIDITE	x x x x x	
	SECONDAIRES	CALCAIRE FLYSH GRES ROCHE BASIQUE	x x x x	
	PRIMAIRE	BASALTE CALCAIRE GABBRO GNEISS GRANITE GRES MIGMATITE QUARTZITE RHYOLITE SCHISTE	x x x x x x x x x x	

Terrain types

> 16

Class of ground assigned according to its genesis and age:

- VSS: coastal, deltaic and swamp Holocene deposits
- SS: Glacial, fluvial, alluvial and colluvial quaternary deposits
- SR: part of Neogene deposits and altered rocks
- HR: Paleozoic, Mesozoic and Paleogene materials and Q. volcanic rocks



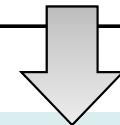
SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ METHOD

- Intersection by GIS treatment of “geological” & “quaternary” maps provides soil column all over the study area:

Terrain types

		QUATERNARY DEPOSITS				
		HR (volcanics)	SR (altered HR)	SS	VSS	x (no deposit)
GEOLOGICAL MAP	HR	x/HR	Sra/HR	SS/HR	VSS/HR	x/HR
	SR	x/HR	Sra/HR	SS/SR	VSS/SR	x/SR
	SS	x/HR	Sra/HR	SS/?	VSS/?	SS/?
	VSS	x/HR	Sra/HR	SS/?	VSS/?	VSS/?

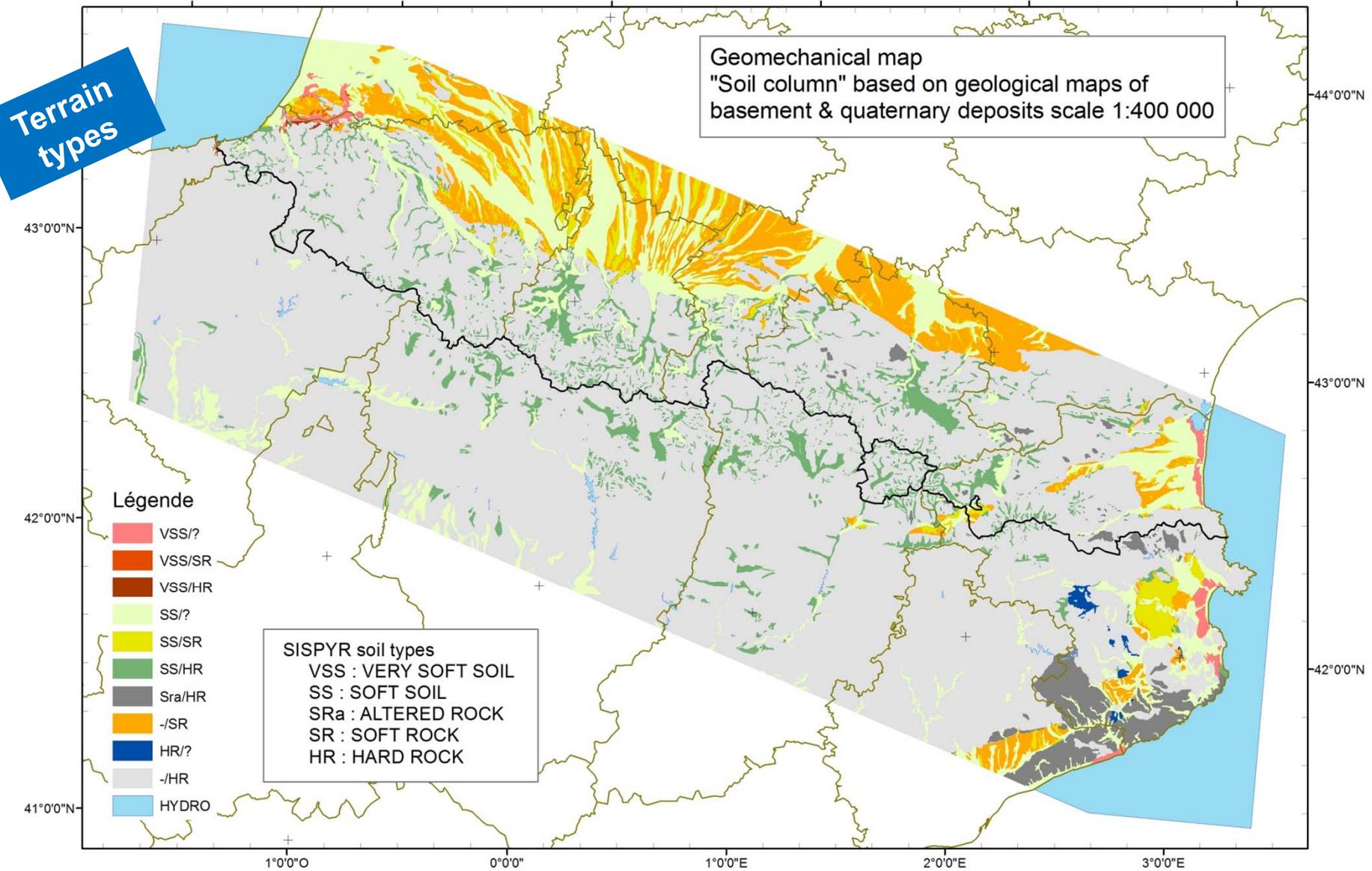


“2,5D” geological classification map
which represents a zonation of soil
column all over Pyrenees





SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ METHOD

- Characterization of the thickness of deposits from different approaches from both sides of the border:
 - Deterministic approach based on expert and bibliography information in Spain (articles and boreholes databases)

Geometry

Report GEOCAT: "Synthesis of Quaternary deposits and Neogene basins in the Iberian sector, July 2011"

> 19

Epigraph	Geological description	Location	Generic interval thickness
11	Fluvial-lacustrine deposits of lateral plugging at the beginning of glacial retreat	Gallego, Ara and Cinqueta river valleys	5-20 m
15	Valley-side covered by colluvial deposits over final phase of disjunction moraines, southern exposure usually	Cinca and Gallego headwaters	5-20 m
17	T-5: highest terrace	Gallego river	<5 m
18	T-4: high terraces with high alteration	Segre river	5-20 m
19	High glacis, correlative with high terraces	Aragon and Cinca rivers	<5 m
20	T-3: medium terraces with high alteration	Zidacos, Aragón, Alcanadre, Cinca and Segre rivers	5-20 m
21	T-2: lower terraces with moderately alteration	Pyrenees rivers	5-20 m

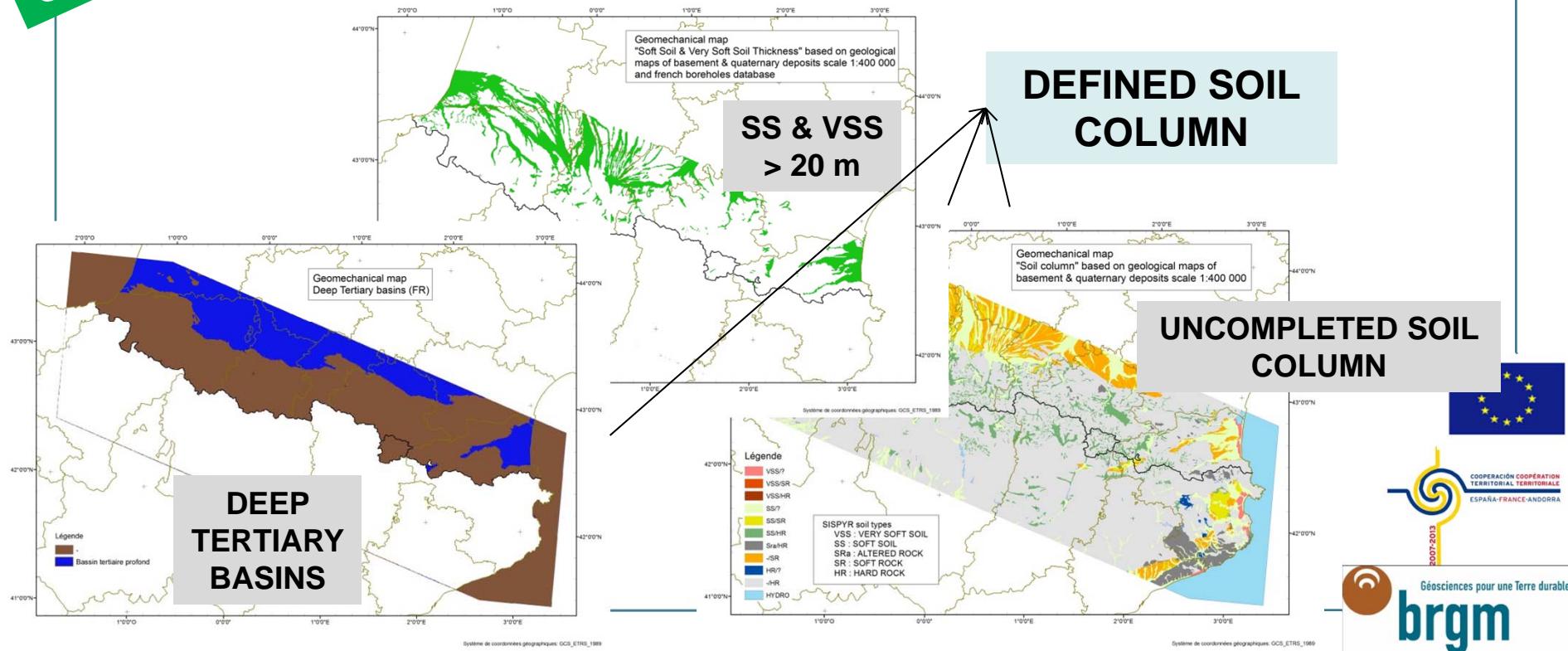


SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ METHOD

- Global GIS approach in France based on main geological domains and bibliography information (boreholes databases and geological structures)

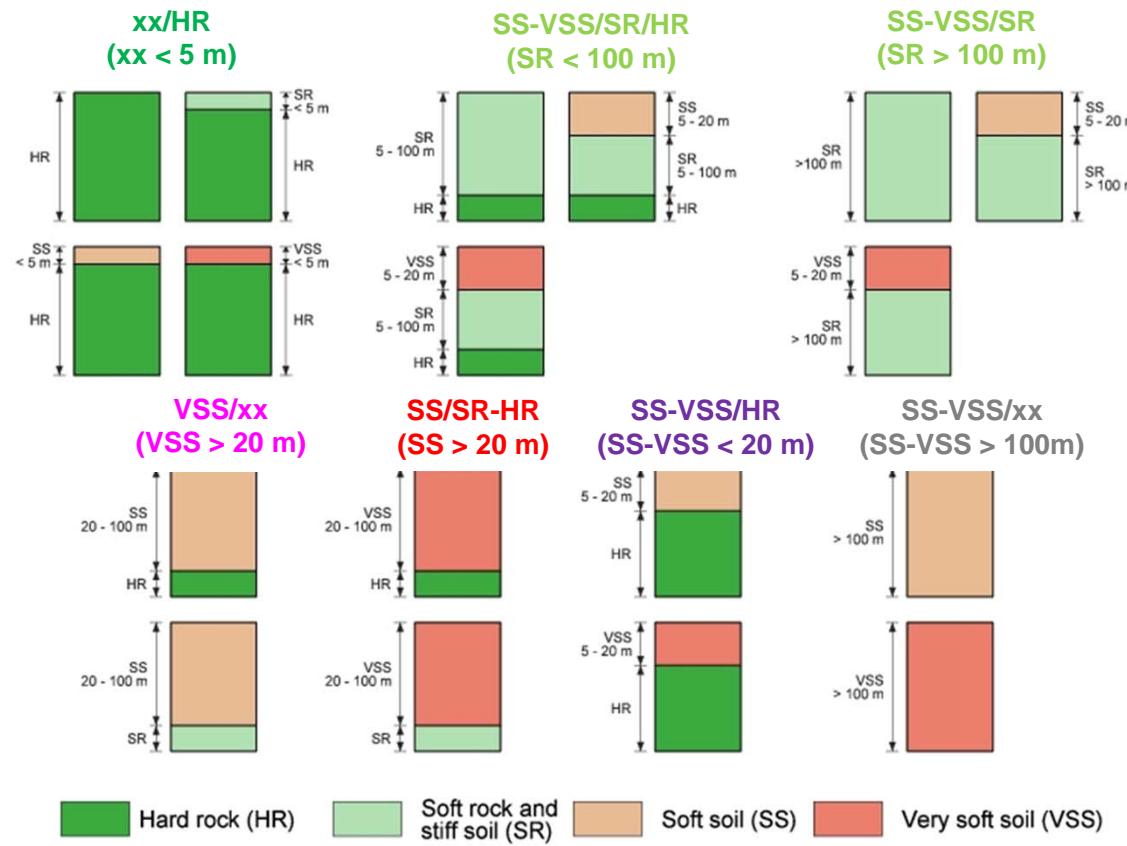
Geometry



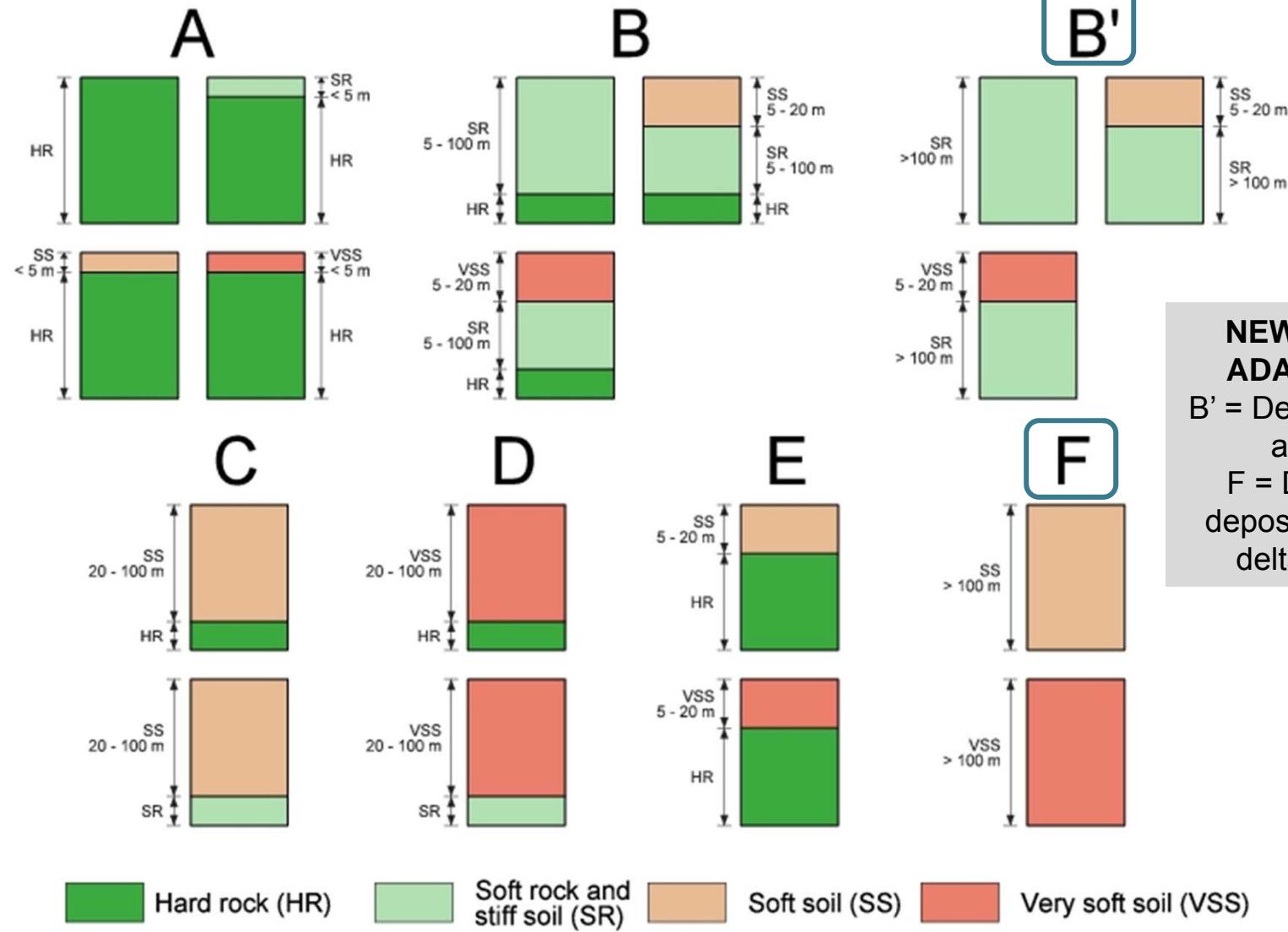
SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ RESULTS

- Definition of “**terrain type column**” all over Pyrenees
- Homogeneous results from both sides of border (!)

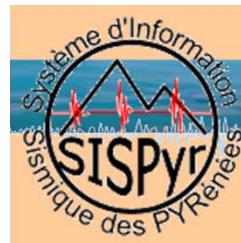


SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

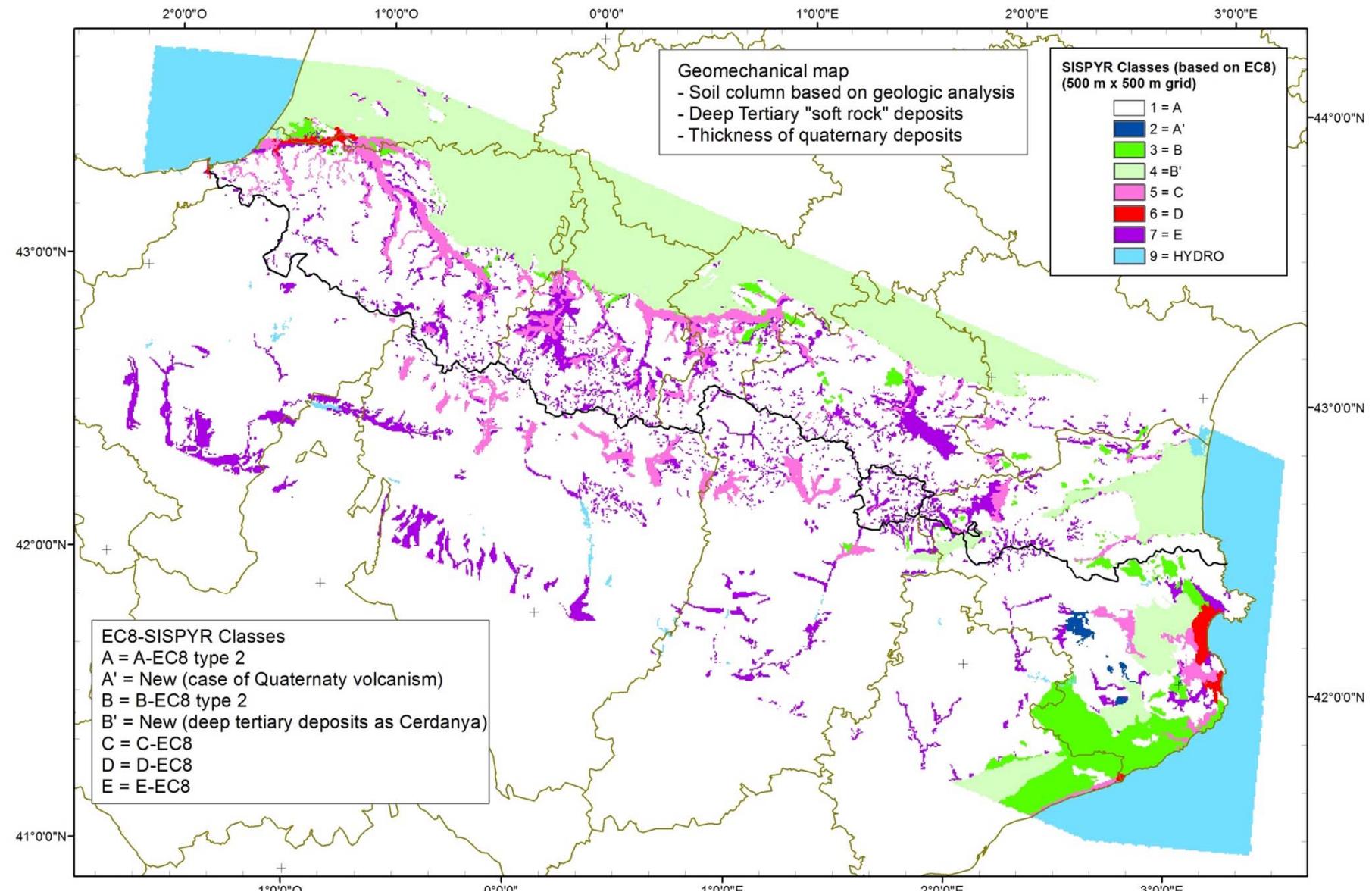


**NEW EC8-SISPYR
ADAPTED CLASS**

B' = Deep tertiary basins
as Cerdanya
F = Deep holocene
deposits as Barcelona
delta (out of area)



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES



✓ BACK ANALYSIS

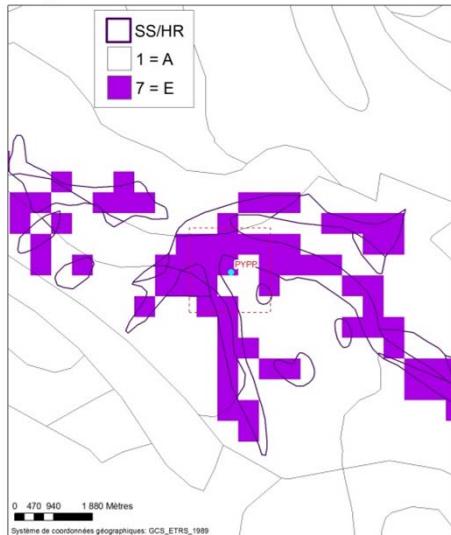
- Available date are described as:
 - Regional: local seismic **microzonation** in Pyrenees (Lourdes, Bagnères, Cerdanya, Val Aran-Luchon, Girona) → going on
 - Punctual EC8 class definition from:
 - stations from NRT seismic network
 - boreholes (Fr) → going on



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ BACK ANALYSIS

■ Stations from NRT seismic network



EC8-map	Nb of stations					
	A	A'	A or B	B	B'	Sum
A	22			1		23
A'		1				1
B			1	1		2
B'						0
C	2					2
E	5			1		6
Sum	29	1	1	3		34

74 % (25/34) with agreement (main for Aclass)

26% (9/34) with conflict

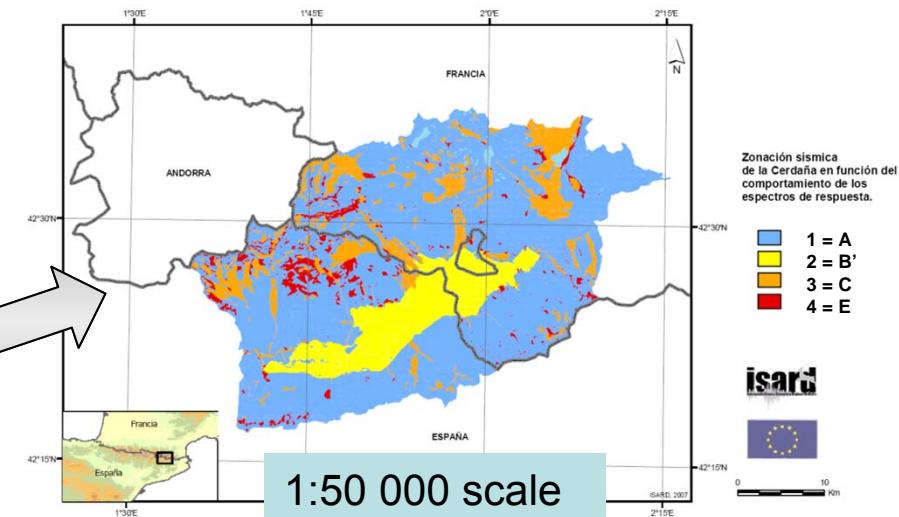
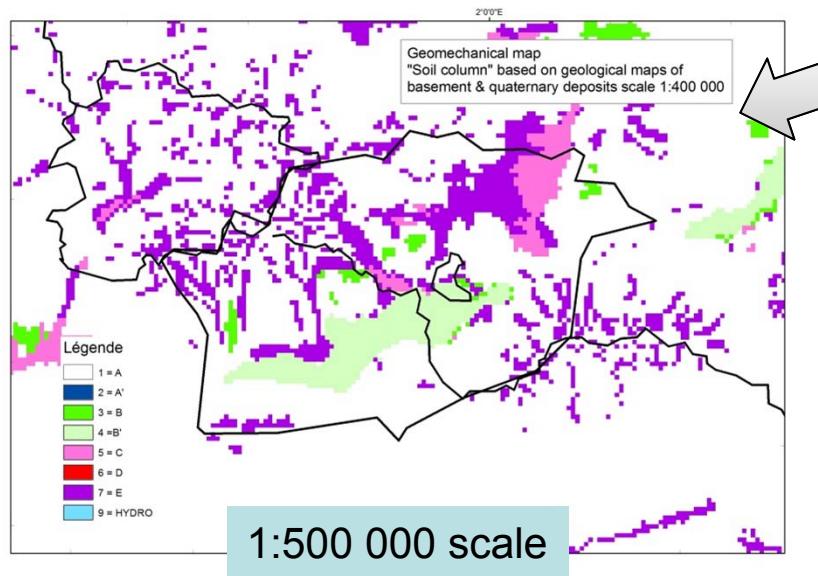
- 14% (5/34) attributed to grid interpolation
- 9% (3/34) attributed to low quality of EC8 determination
- 3% (1/34) attributed to geological/interpreted mapping (glacial deposits)



SEISMIC MACROZONATION OF PYRENEES

✓ BACK ANALYSIS

■ LOCAL STUDIES



global good significance... but:

- over estimated areas of C/E classes
- over estimated E class vs C
- small quaternary deposits not represented: 1:400 000 geological maps contours are of course first responsible of these differences





THANKS FOR YOUR ATTENTION



Bastien COLAS b.colas@brgm.fr