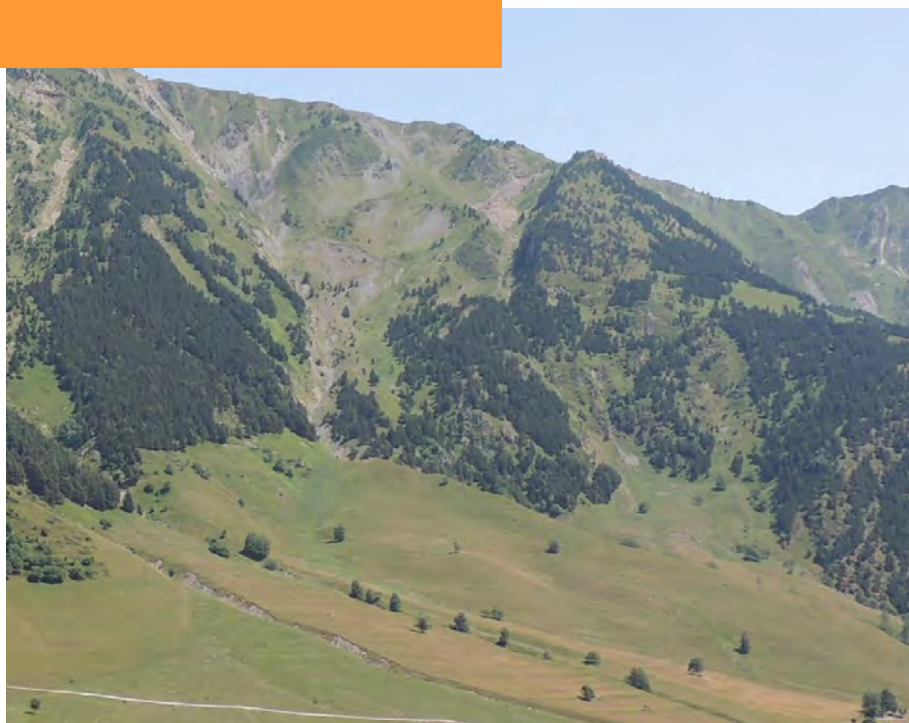


**Estudi de detall del perill d'allaus provinent de la zona d'allaus
UNH018, en l'àmbit d'una borda a Bagergue, terme municipal de
Naut Aran (Val d'Aran)**

Codi: GNR-250503

Maig 2025



TAULA DE CONTINGUTS

1	Introducció	1
1.1	Objectius de l'estudi	1
1.2	Àmbit i zona d'estudi	1
1.3	Antecedents	3
1.4	Tasques realitzades	3
1.5	Limitacions de l'estudi	4
1.6	Marc geogràfic.....	5
1.7	Marc geològic-geomorfològic	6
1.8	Marc climàtic	7
2	Anàlisi del terreny	11
3	Inventari d'allaus, informació històrica i testimonial.....	15
3.1	Cartografia d'allaus (informació existent a la BDAC)	15
3.2	Fotointerpretació	16
3.3	Observació d'allaus	17
3.4	Informació testimonial	17
4	Modelització empírica-estadística	18
5	Reconstrucció del registre d'allaus. Situació d'allaus.....	21
5.1	Síntesi de la situació d'allaus	21
5.1.1	Freqüència d'arribada de les allaus majors	21

5.2	Definició de les allaus majors de referència	23
6	Modelització dinàmica	24
6.1	RAMMS	24
6.2	Escenaris de simulació.....	26
6.2.1	Model digital del terreny	27
6.2.2	Volum de neu mobilitzable	28
6.2.2.1	Superfície de neu mobilitzable	28
6.2.2.2	Gruix de neu mobilitzable	29
6.2.3	Coeficients de fricció	32
6.2.4	Cohesió	33
6.2.5	Densitat	33
6.2.6	Bosc	33
6.2.7	Gradient de temperatura	34
6.2.8	Gradient de gruix.....	34
6.2.9	Incorporació de neu	34
6.3	Simulacions	34
6.3.1	Reproducció de les allaus identificades a partir de fotointerpretació	35
6.3.2	Escenari major de referencia de T300	36
7	Conclusions	39

ANNEX 1. PLÀNOLS

1 Introducció

1.1 Objectius de l'estudi

El present estudi ha estat sol·licitat per Oscar Tarrau, propietari de la borda objecte d'estudi. Té per objectiu la determinació del perill d'allaus provinent de la zona d'allaus UNH018, en relació al Projecte de reconstrucció d'una borda preexistent situada al polígon 2 - parcel·la 152 (Margalida) de Bagergue, al terme municipal de Naut Aran (exp. 2024 / 082454 /V).

Dóna resposta als requeriments de l'informe relatiu a l'expedient ICGC. VR-0003/2025, emès per l'ICGC amb data d'abril de 2025, de l'informe "Estudi de detall del perill d'allaus i del perill de fluxos torrencials en l'àmbit d'una borda a Bagergue, terme municipal de Naut Aran (Val d'Aran)". Aquest informe emet les següents observacions en relació als resultats obtinguts en l'avaluació del perill d'allaus:

"Donats els resultats obtinguts, es conclou que no s'identifica perillositat per allaus, atès que queda aturat a la part proximal del con sense arribar a l'àmbit delimitat. Això no obstant, aquest institut considera que l'àmbit d'estudi també podria estar afectat per les trajectòries de la zona d'allaus UNH018, pel que caldrà realitzar l'estudi de detall d'aquesta zona d'allaus en relació a la borda i un cop finalitzat haurà de ser remès a aquest institut per a la seva valoració."

Per tant, el present estudi, és complementari de l'informe inicial "Estudi de detall del perill d'allaus i del perill de fluxos torrencials, en l'àmbit d'una borda a Bagergue, terme municipal de Naut Aran (Val d'Aran)", GNR-240503, de novembre de 2024. Per tant, es compta, amb la informació de base obtinguda en aquest informe.

1.2 Àmbit i zona d'estudi

La zona a estudiar (àmbit delimitat) correspon a una borda preexistent situada al polígon 2 - parcel·la 152 (Margalida) de Bagergue al terme municipal de Naut Aran (Figura 1). Es troba a la cota 1.524 msnm, entre els barranc de Santa Margalida i des Mijaus, a l'indret anomenat Sant Martissis, al peu dels Malhs de Pèdescauç.

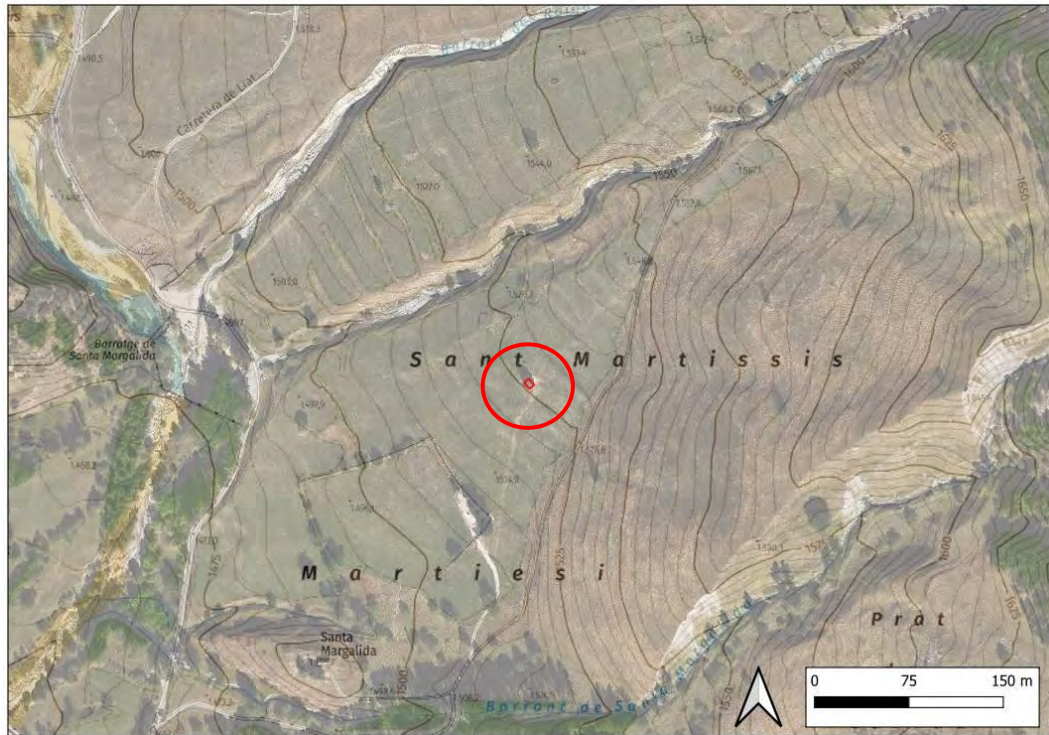
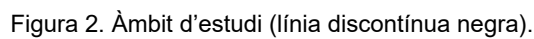


Figura 1. Àmbit delimitat (encerclat en vermell).

Pel que fa a l'àmbit d'estudi, s'ha delimitat considerant la totalitat de la conca del barranc de Santa Margalida, d'on provenen les allaus de la zona d'allaus UNH018 (Figura 2). El barranc té una direcció aproximada oest–est, i queda tancat pels Malhs de Pèdescaus a l'est amb el Tuc de Costarjàs com a cota màxima (2.337 m s.n.m.).



No s'ha trobat estudis antercedents a l'àmbit d'estudi. Tanmateix, en nombrosos barrancs de la vall d'Aran s'han realitzat estudis de perillositat per allaus. Es tracta de dinàmiques presents a la vall, i conegudes.

Per a l'elaboració del present informe s'han realitzat les següents tasques:

1. Anàlisi de la documentació de base. Inclou la consulta al registre històric, a la cartografia existent, bases de dades i informes antecedents, fotointerpretació de la sèrie històrica d'ortoimatges disponible, i anàlisi de cartografia processada, obtinguda a partir de tractament SIG.
2. Cartografia dels esdeveniments d'allaus. Reconstrucció de la història d'allaus.

- o Definició dels escenaris majors de referència a partir de l'inventari d'allaus obtingut, anàlisi del terreny i tractament estadístic de dades de gruix de neu.
 - o Modelització segons els escenaris de referència considerant la component d'aerosol amb el programari suís RAMMS::AVALANCHE i RAMMS::EXTENDED.
3. Anàlisi dels resultats i avaluació de la perillositat.
 4. Redacció i edició de l'informe, plànols i resta d'annexos.

Per a tal finalitat, s'ha comptat amb les següents bases cartogràfiques de l'ICGC, descarregables al portal Vissir (<http://www.icc.cat/vissir/>).

- Base topogràfica 1:5.000
- Ortoimatges ràster dels vols que cobreixen la zona des de 1945
- Model digital del terreny 5x5
- Model digital del terreny 2x2

1.5 Limitacions de l'estudi

La present avaluació de perillositat es basa en l'experiència adquirida al llarg dels anys a GeoNeu Risk, en la documentació antecedent, en la informació de la visita sobre el terreny i de les enquestes realitzades, en la informació sobre allaus del passat, en les dades nivometeorològiques, en les dades de terreny i en el càlcul de la dinàmica de les allaus. S'ha analitzat detalladament tota aquesta informació posant-hi tot el nostre coneixement i màxims estàndards professionals d'acord amb el temps i abast del treball encarregat. Tanmateix, les allaus són un fenomen complex, i encara avui dia no pot ser perfectament avaluat i predit. En tot cas, en el present estudi, GeoNeu Risk ofereix la seva millor avaluació professional, d'acord amb les condicions en aquest punt descrites.

1.6 Marc geogràfic

La zona d'estudi es troba situada a la capçalera de la vall de la Garona, Val d'Aran, al terme municipal de Naut Aran. Concretament, es troba al marge esquerre de la vall del riu Unhòla, a una cota de 1.524 msnm (Figura 3), i al marge esquerre del barranc d'Es Mijaus. L'àmbit s'emplaça en un con de dejecció format pels barrancs de Mijaus i Raigades, que quasi de forma paral·lela s'hi incideixen en direcció NE-SO. La conca on té origen el barranc queda tancada pels Malhs de Pèdescauç, serralada de direcció N-S, que assoleix la cota màxima al Tuc de Costarjàs (2.337 msnm). La cota inferior de la conca, a la confluència amb el riu d'Unhòla, és de 1.457 msnm.

La zona d'allaus UNH018 es troba situada a la conca del barranc de Santa Margalida. Té com a cota màxima els 2.275 msnm, als Malhs de Pèdescauç, al vessant oest dels quals neix el barranc de Santa Margalida. En el tram superior, el barranc té una direcció est-oest, però a la cota 1.650 msnm, el barranc fa un gir molt marcat en direcció sud-oest, a causa de la presència d'un dipòsit interpretat al mapa geològic 1:50.000 (ICGC) com a col·luvial, tot i que possiblement sigui d'origen glacial, que en alguns trams arriba a 100 m de potència.

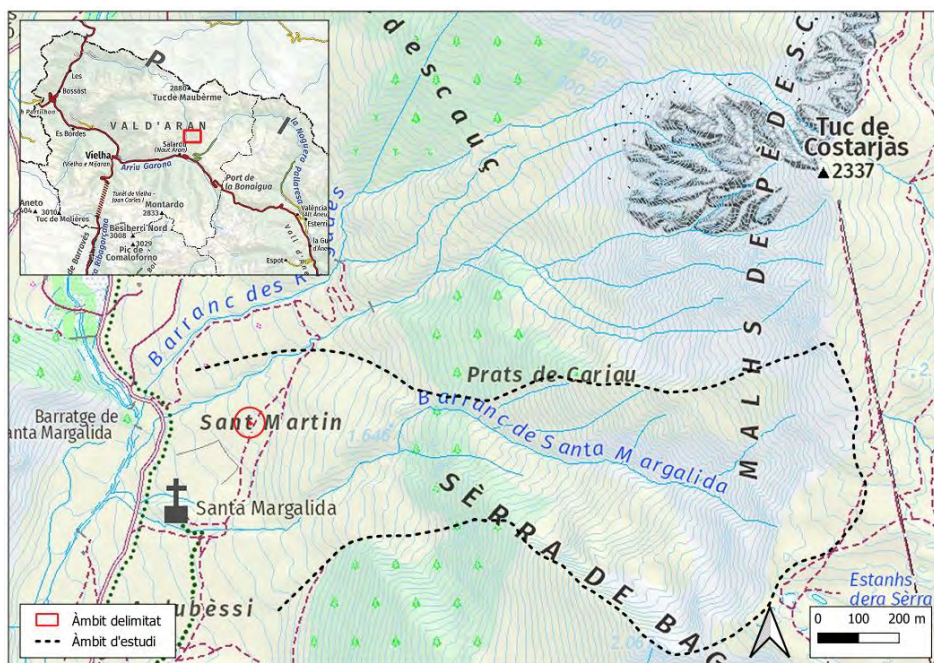


Figura 3. Marc geogràfic.

1.7 Marc geològic-geomorfològic

A la zona d'estudi hi afloren materials paleozoics que formen part del mantell de les Nogueres (Figura 4). Es tracta de sèries sedimentàries del Devonià, formades per pissarres, calcàries i lutites. Són materials antics, relativament tous, que donen un relleu relativament suau, tot i que la unitat Dpcg, constituïda per pissarres, calcàries i gresos carbonatats, dóna els relleus més escarpats de la zona d'estudi. A la meitat inferior de la conca, aquests materials del substrat estan coberts per la unitat Qco, dipòsits col·luvials quaternaris i per la unitat Qve, vessants d'esbaldregalls, segons el mapa geològic 1:50.000 de l'ICGC. Aquests corresponen al con de dejecció format a partir de sediments provinents dels barrancs de Mijaus, Raigades i Santa Margalida.

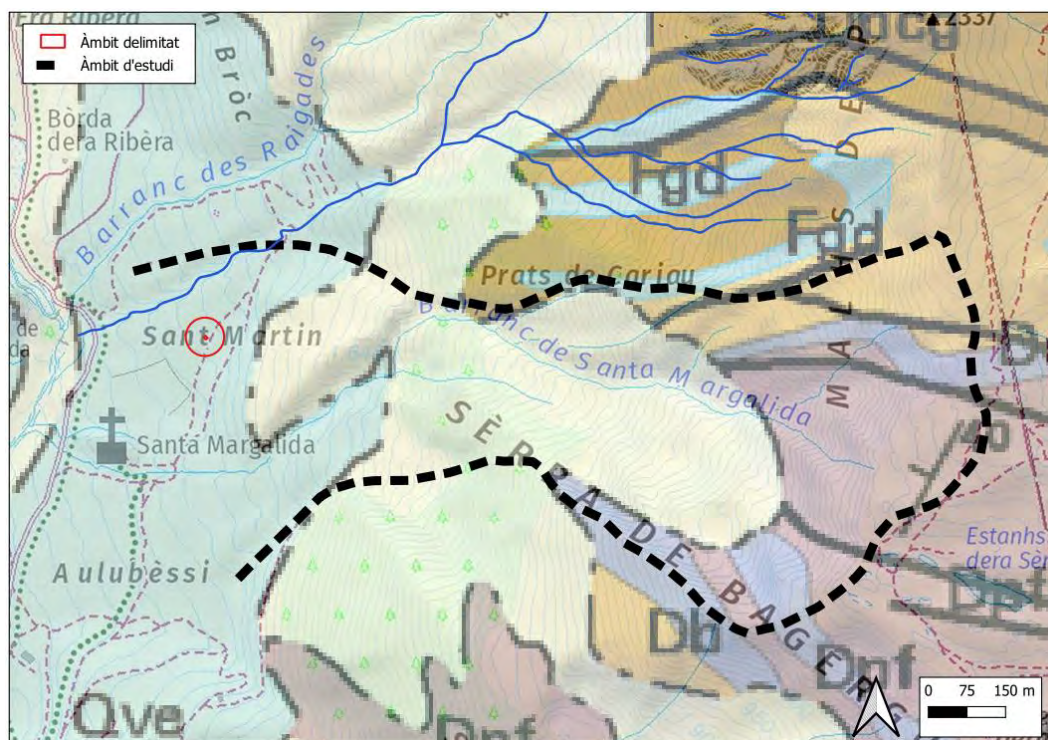


Figura 4. Litologia de la zona d'estudi segons el Mapa Geològic de Catalunya 1:50.000. Db: Alternança de lutites verdoses i grisoses i gresos de gra fi i capes de calcàries, alternança de Riu Nere, Devonià superior; Dpcg: Pissarres fosques amb calcàries i gresos carbonatats. Famennià inferior (Devonià Superior); Fgd: Filons de pòrfirs granodiorítics. Carbonífer-Permià; Qco: Dipòsits col·luvials, argiles amb còdols angulosos dispersos, Holocè; Qve: Blocs i graves, vessant d'esbaldregalls, Holocè.

El glaciariisme i periglaciariisme són processos morfogenètics fonamentals en el modelat de la zona d'estudi. Els elements bàsics del relleu deriven de l'acció erosiva de les masses de gel durant el Plistocè. El procés d'abrasió glaciària ha deixat nombroses evidències de la seva activitat. Els cims situats a cotes per sobre de 2000 m estan delimitats per circs. Aquests deixen entre sí divisòries estretes i escarpades de tipus cresta, en l'evolució de les quals els processos de gelifracció periglaciària han jugat un paper important. També són freqüents les depressions de sobreexcavació, encaixades per sota del nivell de fons dels circs i que freqüentment inclouen estanys al seu interior, tancats per llindars rocosos. Solen ser de morfologies subcirculars. Altres elements morfològics característics són les valls en artesa. Els dipòsits glaciàrics tenen una gran extensió, principalment les morenes de fons i fronts morènics. S'han desenvolupat durant la fase de màxim glaciària, i al llarg dels diferents moments d'estabilització ocorreguts en el procés de retirada dels gels.

Als vessants es produeix gelifracció, procés que dona lloc a les tarteres existents a cotes altes. En zones menys elevades i de naturalesa pissarrosa-quarsítica, són freqüents els col·luvions de blocs, que poden tenir importants gruixos.

El modelat fluvial de la zona d'estudi s'estableix en èpoques molt recents, ja que la seva progressió és sincrònica amb el retrocés generalitzat de les glaceres que ocupaven les valls durant les etapes àlgides de la darrera glaciació. Són molt abundants els cons de dejecció que han desenvolupat els barrancs afluent a la confluència de les valls principals, a conseqüència del descens brusc del pendent a l'arribar-hi.

1.8 Marc climàtic

El clima de la Val d'Aran és oceànic, amb un règim pluviomètric equilibrat, que significa una regularitat en les precipitacions en les quatre estacions de l'any (Atlas Climàtic de

Catalunya¹). La precipitació anual supera els 1.250 mm a les divisòries principals mentre que al fons de la vall la precipitació mitjana és de l'ordre dels 900 mm.

Des del punt de vista nivoclimàtic, la zona d'estudi es troba dins del sector "Aran-Franja nord de la Pallaresa" (sector definit en la regionalització nivoclimàtica establerta per l'ICGC per a la comunicació del Butlletí de Perill d'Allaus, BPA). Segons García et al., 2007², aquesta zona presenta un clima oceànic humit a conseqüència de ser una vall orientada al nord, que permet l'entrada a les masses d'aire provinents del nord i nord-oest. Les precipitacions són abundants i mostren una distribució interanual regular. La quantitat mitjana de neu recent acumulada a 2.200 m és de l'ordre de 500-600 cm per any. Aquesta influència atlàntica decreix ràpidament així que la massa d'aire creua la serralada principal en direcció al sud.

La disposició nord-sud de la vall afavoreix que els fluxos humits atlàntics hi afectin amb força, especialment les adveccions de nord-oest, situació en que es registren les nevades més importants. L'altitud, però especialment la disposició del relleu són determinants en la distribució de les precipitacions. La disposició perpendicular dels massissos, al sud de la vall provoca un augment de la intensitat de les nevades per dispar orogràfic, així com la seva duració per efecte de la retenció orogràfica. Això es manifesta especialment en adveccions del nord i nord-oest. Aquesta barrera est-oest del relleu, és la que fa que les masses d'aire meridionals la traspassin reescalfades i seques, provocant un augment de la temperatura a la vall i un augment de la cota de neu en cas que vinguin acompanyades de precipitació (efecte foehn/vent d'Espanya).

A nivell de freqüència d'episodis d'allaus majors, per a un període de 20 anys, s'observa com aquesta zona (zona GA, Figura 5) es troba en el sector on es registra la major

¹ <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima/atles-climatic/>

² García, C., Martí, G., García, A., Muntán, E., Oller, P., Esteban, P., 2007. Weather and snowpack conditions of major avalanches in the Eastern Pyrenees. Proceedings of the Alpine&Snow Workshop: Forschungsbericht 53, pp. 49–56.

freqüència d'ocurrència d'episodis majors (Oller et al, 2015)³. De tot el sector occidental, és la regió on hi ha menys variabilitat en relació als patrons atmosfèrics que l'afecten (Figura 6) havent-hi un clar domini dels patrons N/NW. Això fa que les situacions d'allaus majors es caracteritzin sobretot per ser derivades de nevades abundants amb neu freda i seca, acompanyades de vent de nord i nord-oest, generalment moderat a fort. En situacions en que les masses d'aire provenen del sud dels Pirineus, menys freqüents, tenen lloc episodis majors causats o bé per nevades més humides, o bé per pluja sobre el mantell o condicions anticiclòniques càlides. En aquestes situacions, les allaus que s'esperen són de neu més densa/humida i, per tant, de menor abast.

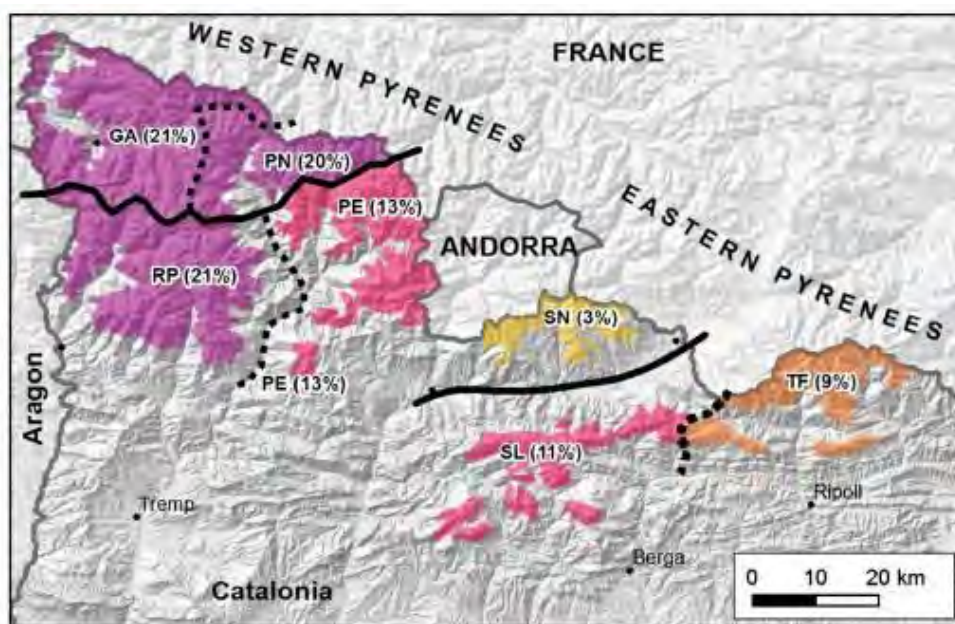


Figura 5. Freqüència d'ocurrència d'episodis d'allaus majors al Pirineu de Catalunya els darrers 20 anys. Els colors (àrees susceptibles de ser afectades per allaus) diferencien regions de freqüència similar (Oller et al., 2015).

³ Oller, P., Muntán, E., García-Sellés, C., Furdada, G., Baeza, C., Angulo, C., (2015). Characterizing major avalanche episodes in space and time in the twentieth and early twenty-first centuries in the Catalan Pyrenees. Cold Regions Science and Technology 110:129-148.

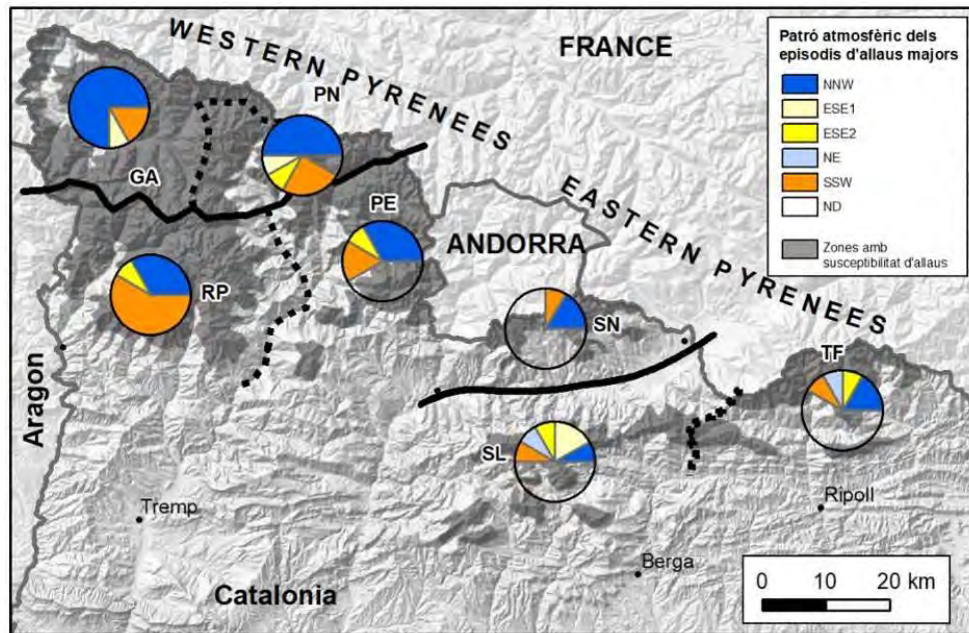


Figura 6. Patrons atmosfèrics associats als episodis d'allaus majors registrats al Pirineu de Catalunya els darrers 20 anys, segons les regions nivològiques majors (Oller et al., 2015).

2 Anàlisi del terreny

La Figura 7 mostra els pendents de l'àmbit d'estudi obtinguts a partir del model digital d'elevacions 5x5 m de l'ICGC. A la Figura 8 i Figura 9 es mostra els perfils topogràfics representatius de la zona d'allaus UNH018, segons les trajectòries possibles.

S'observa com els pendents més elevats (al voltant dels 40°), corresponen a escarpaments rocosos (Malhs de Pèdescauç) travessats per diferents barrancs relativament incidits que s'uneixen en un barranc principal de direcció est-oest, amb un pendent mitjà d'uns 20°. A la cota 1.650 msnm el barranc principal canvia la trajectòria degut a l'existència d'un potent dipòsit col·luvial (segons el mapa geològic 50M de l'ICGC), redirigint la trajectòria en direcció sud-oest. A partir de la cota 1.575, el pendent del barranc ja baixa per sota dels 10°. Les allaus denses, seguirien sempre aquesta trajectòria, que és la que mostren els perfils. Tanmateix, a la zona on hi ha el canvi de direcció dels barranc (cota 1.650 msnm) hi ha un punt on la cota és més baixa, on no es descarta que pugui haver-hi un desbordament, si més no, d'un eventual aerosol.

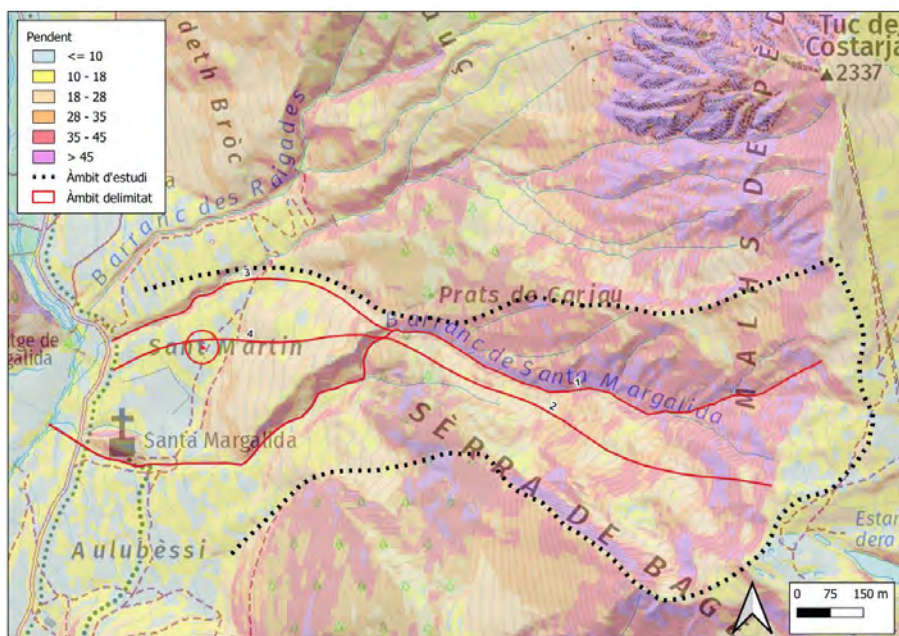


Figura 7. Pendents de la zona d'estudi obtinguts a partir del model digital del terreny de 5x5 m. Es representa la traça dels perfils topogràfics representats a la Figura 8 i a la Figura 9 (línies centrals representatives de les principals trajectòries).

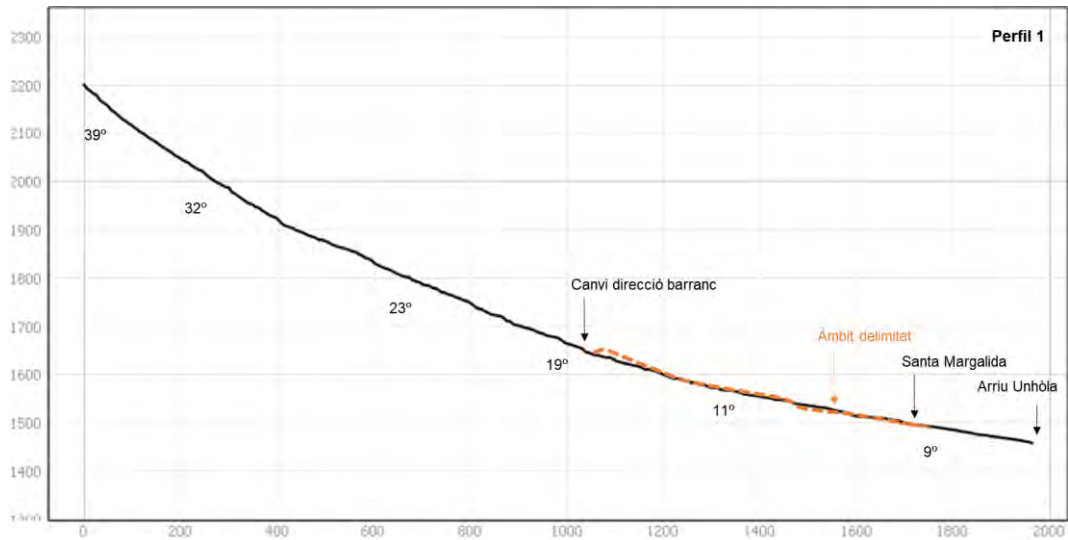


Figura 8. Perfil 1, que ressegueix el barranc de Santa Margalida, i variant perfil 3 (traça discontinua marró) d'una eventual trajectòria que remuntaria el dipòsit col·luvial.

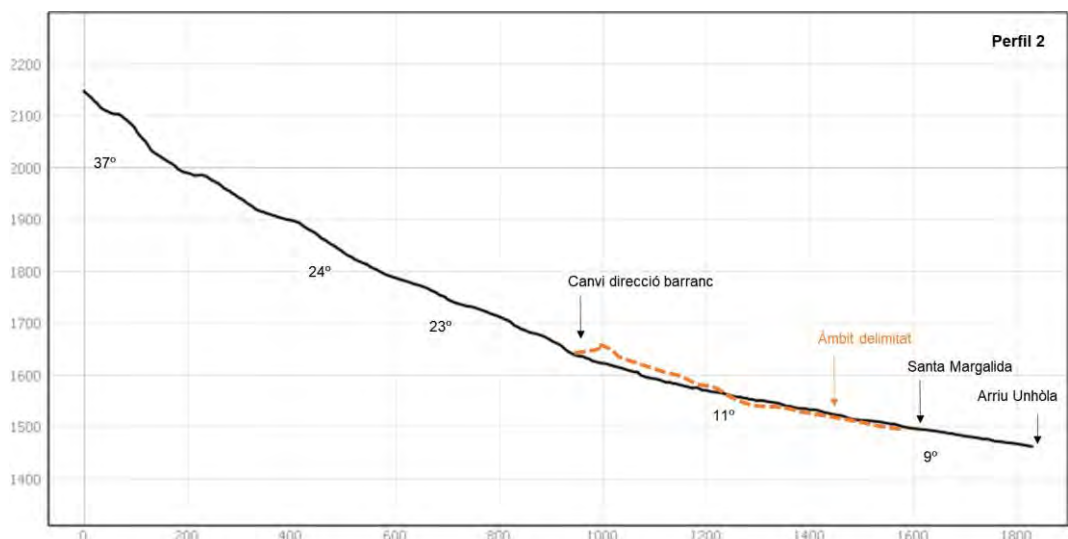


Figura 9. Perfil 2, que ressegueix el llom oest del barranc de Santa Margalida, i variant perfil 4 (traça discontinua marró) d'una eventual trajectòria que remuntaria el dipòsit col·luvial.

La trajectòria que podria afectar a l'àmbit delimitat correspon al perfil 4. Per seguir aquesta trajectòria, l'allau hauria de superar el tàlveg del dipòsit col·luvial amb un desnivell de 25 m.

La zona de sortida (Figura 10) no és homogènia, sinó que està constituïda per 3-4 subconques, amb terreny poc regular, solcat per tàlvegs, que s'uneixen a un barranc principal a la cota 1.900 msnm aproximadament.

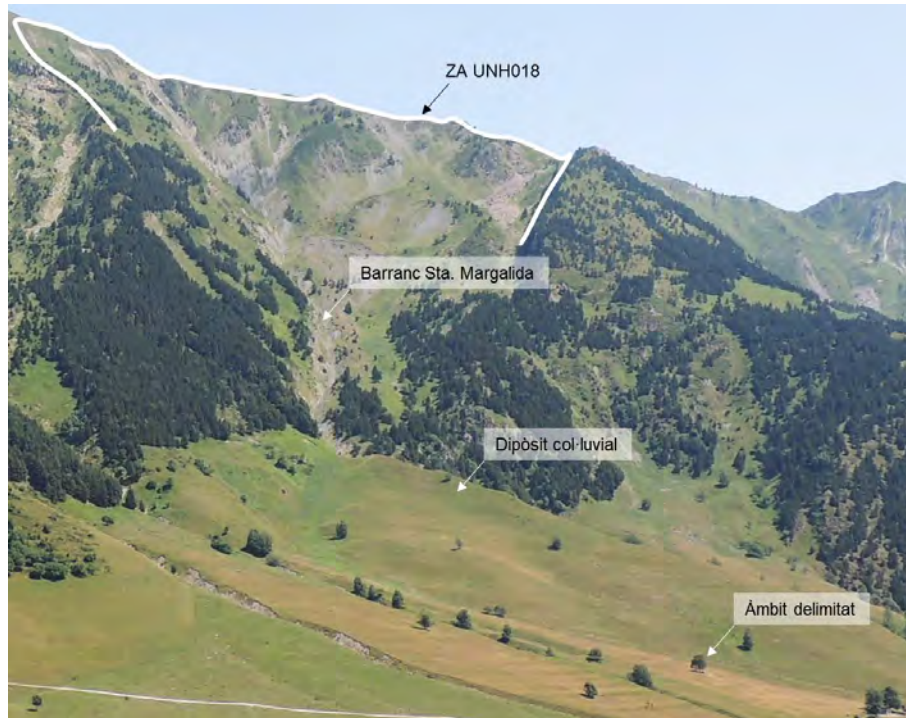


Figura 10. Zona d'allaus UNH018 i àmbit delimitat.

Pel que fa a l'evolució de la conca des que es disposa d'imatges aèries (1945, Figura 11, Figura 12), s'observa com el bosc ha augmentat a cotes mitjanes (especialment entre 1.600 msnm i 1.800 msnm). L'augment de la massa forestal, però, és significativa a partir dels anys 1990. A les ortoimatges anteriors, des de 1945, no s'observa arbres a la conca. Per sota de 1.600 msnm, hi ha els prats del con de dejecció, que s'han mantingut desforestats des de 1945 pel seu ús agrícola/ramader. Per sobre de 1.800 msnm, les característiques més rocoses de la conca no han permès que el bosc cresqués amb densitat, tot i estar més aforestat actualment. Per tant, en general, les condicions dinàmiques de la conca, pel que fa a l'activitat d'allaus, no han canviat significativament.

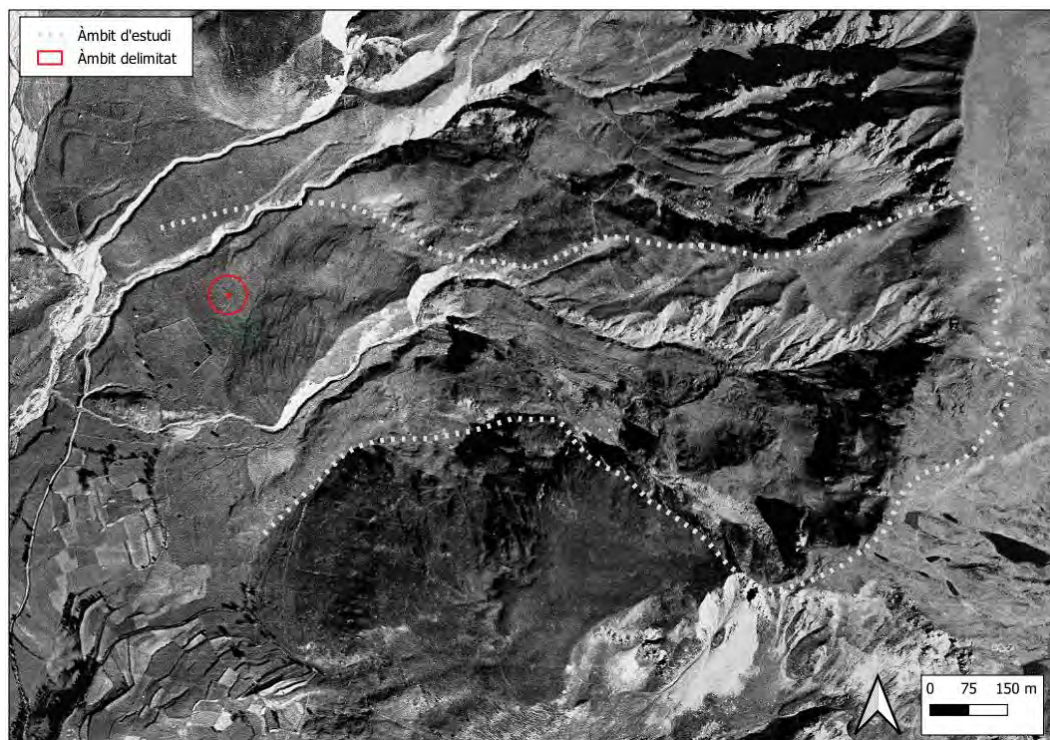


Figura 11. Estat del bosc l'any 1945.



Figura 12. Estat actual del bosc.

3.1 Cartografia d'allaus (informació existent a la BDAC)

Figura 13. Cartografia d'allaus registrades a la BDAC (ICGC), de la zona d'estudi.

3.2 Fotointerpretació

L'àmbit d'estudi, en les primeres ortoimatges disponibles (1945) i fins als anys 1990, es troba desproveït de bosc. Per tant, les allaus que s'haguessin produït en aquest període de temps no haurien deixat senyals sobre la massa forestal. No és, sobretot, fins a partir de 1997, quan les ortoimatges que cobreixen la zona són més freqüents i de major qualitat, i quan creix el bosc. És a partir de llavors quan es poden identificar els efectes de les allaus.

Els esdeveniments d'allaus destructives són molt evidents a les ortoimatges gràcies a les franges obertes al bosc, desforestades, que s'observen al comparar amb les ortoimatges prèvies a l'esdeveniment. En concret, a la zona, s'observa 4 episodis d'allaus destructives ben clars, al menys, des de 1997, data a partir de la qual les campanyes de fotografia aèria van augmentant en freqüència i qualitat de les imatges (Figura 14): l'any 2003, 2013, 2014 i 2015. No obstant, dins de l'àmbit d'estudi no s'hi observa els efectes de cap allau de 2003. En canvi, curiosament, en un període d'aproximadament 30 anys, els esdeveniments majors (destructius) detectats corresponen a 3 temporades seguides: 2013, 2014 i 2015. Els danys observats en aquestes tres temporades segueixen trajectòries molt similars i permeten intuir la ubicació de la/les zona/es de sortida més freqüent/s.

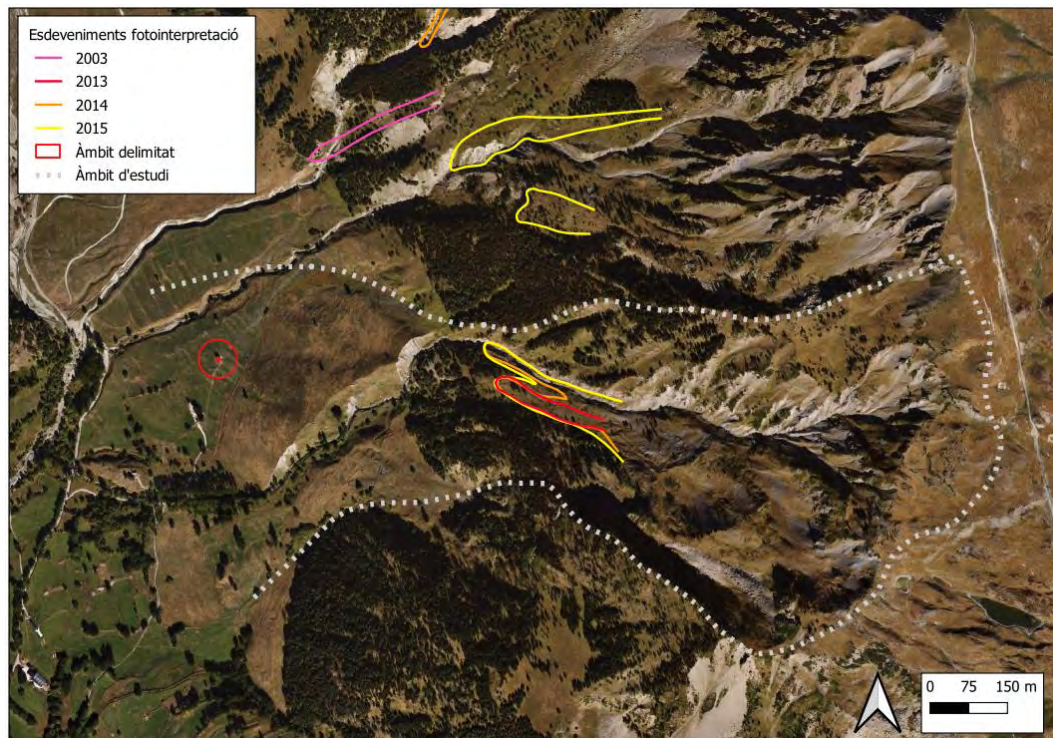


Figura 14. Cartografia d'allaus delimitades a partir de fotointerpretació (danys observats al bosc), des de 1997 (28 anys).

3.3 Observació d'allaus

No consten allaus observades a la BDAC. És natural, ja que es tracta d'una zona on no s'hi fa un seguiment continuat. És d'esperar que a les cotes altes, la dinàmica d'allaus petites/mitjanes sigui freqüent cada hivern degut a l'absència de bosc i per la major innivació i exposició al vent. Tan sols durant episodis majors, de menor freqüència, aquestes allaus poden davallar i travessar la franja de bosc causant danys. Tanmateix, aquesta activitat d'allaus no ha quedat registrada a la BDAC.

3.4 Informació testimonial

A la base de dades d'allaus de l'ICGC no hi ha informació testimonial d'aquesta zona d'allaus (Figura 13). Testimonis consultats actualment, no recorden haver vist allaus en aquest barranc, a l'altura de l'ermita de Santa Margalida. Per tant, en cas que hi puguin arribar allaus, és probable que ho facin amb molt baixa freqüència.

4 Modelització empírica-estadística

Prèvia a la modelització dinàmica, i donat que no es disposa d'un catàleg nombrós d'allaus de baixa freqüència, s'ha aplicat el model α - β amb l'objectiu d'obtenir una estimació d'abast basada amb dades d'allaus reals d'un període de retorn igual o superior als 100 anys.

El model de regressió α - β (on α representa l'abast màxim de l'allau i β el punt on el pendent del perfil topogràfic del vessant arriba a 10°), va ser desenvolupat per Lied i Bakkehøi (1980)⁴, a partir de dades de 192 zones d'allaus de Noruega amb distàncies d'abast ben conegudes. Van trobar que β era l'únic predictor significatiu d' α . En aquest model, l'angle β s'interpreta com el pendent de la zona d'allaus.

Furdada i Vilaplana (1998)⁵, van obtenir una primera equació a partir d'abast d'allaus històriques del Pirineu occidental de Catalunya. Recentment, Oller et al. (2021)⁶ han proposat una equació per als Pirineus a partir d'informació actualitzada de 83 esdeveniments majors d'ordre centenari:

$$\alpha = 0,90 \beta + 0,001 L_{\beta} - 1,33 \ln(Azs) + 0,61^{\circ} \quad R^2 = 0,81; SD = 1,63; N = 83^{\circ} \quad (\text{Eq. 1})$$

On,

- L_{β} : longitud projectada des del punt més elevat de la zona de sortida fins al punt β .
- Azs : àrea de la zona de sortida

⁴ Lied, K., Bakkehøi, S., 1980. Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, V26, p165-178

⁵ Furdada G and Vilaplana JM (1998) Statistical prediction of maximum avalanche run-out distances from topographic data in the western Catalan Pyrenees (northeast Spain). *Annals of Glaciology* 26, 285–288.

⁶ : Oller P, Baeza C, Furdada G (2021). Empirical α - β runout modelling of snow avalanches in the Catalan Pyrenees. *Journal of Glaciology* 67(266), 1043–1054. <https://doi.org/10.1017/jog.2021.50>

La Taula 1 i la Figura 15 mostren el resultat obtingut. La corba α correspon a l'abast d'allaus de T100 (o superior), on es representa l'abast d' α (probabilitat de no excedència del 50%) i d' α -SD (probabilitat de no excedència del 84%; SD: desviació estàndard)⁷.

Taula 1. Angles α - β obtinguts per a la zona d'allaus UNH020, segons l'equació obtinguda per Oller et al. (2021).

Zona d'allaus	Cota superior (m snm)	Cota punt beta (m snm)	Desnivell (m)	Angle β (°)	Longitud a β (m)	Àrea zona sortida (ha)	Angle α (°)	Angle α -SD (°)
UNH020	2.200	1.570	360	25,8	1.304	4,5	23,1	21,5

Els resultats mostren com l'allau pot arribar a la cota 1.520 msnm per a un període de retorn de l'ordre de 100 anys amb una probabilitat de no excedència del 50% (punt α). Amb una probabilitat de no excedència del 84%, podria arribar fins a l'altura de Santa Margalida (T>100 a).

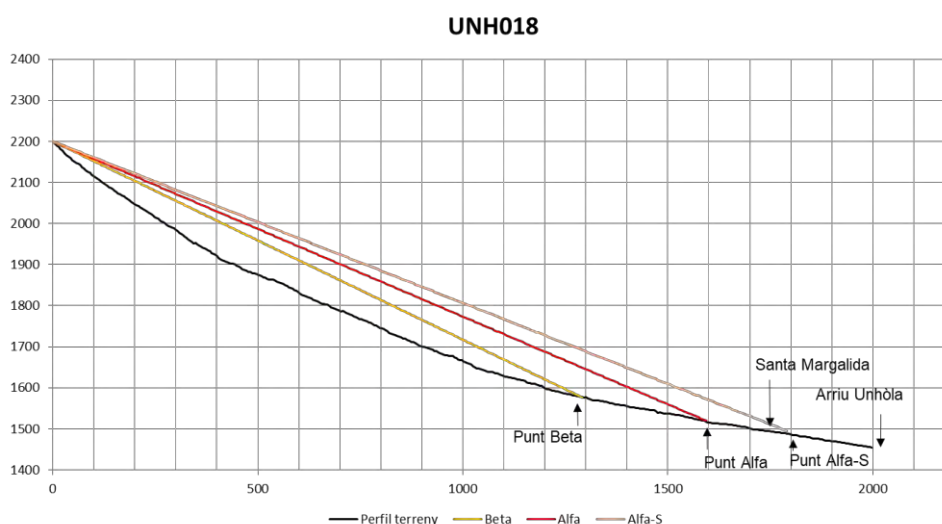


Figura 15. Angles d'abast obtinguts a la zona d'allaus UNH018.

⁷ Jamieson, B., Jones, A., Sinickas, A., 2018. Statistical runout estimation, in: Jamieson, B. (Ed.), Planning Methods for Assessing and Mitigating Snow Avalanche Risk, Canadian Avalanche Association, Revelstoke, British Columbia, Canada.

La simulació s'ha fet segons la trajectòria del barranc (perfil 1). No s'ha aplicat als perfils 3 i 4, ja que el model no té en compte irregularitats marcades del terreny com els contrapendents del colze del barranc.

Per altra banda, s'ha considerat una mida de zona de sortida corresponent a la suma de tota la zona potencial de sortida (Figura 19). Es tracta d'un escenari de màxims, donat que és poc probable que tota la zona de sortida es desencadeni de cop.

5 Reconstrucció del registre d'allaus. Situació d'allaus

5.1 Síntesi de la situació d'allaus

La informació recollida en l'anàlisi del terreny, i en l'inventari d'allaus, se sintetitza en la Figura 16. Dins de l'àmbit d'estudi només hi ha registrades allaus destructives durant la temporada 2012/13, 2013/14 i 2014/15. Aquestes, probablement de mida 3-4, s'aturen totes aproximadament a la cota 1.675 msnm. No es descarta que en els esdeveniments de 2013/14 i 2014/15, la part de l'allau que segueix el tàlveg del barranc de Santa Margalida hagi arribat més avall, però al no haver-hi arbres al tàlveg, no es pot confirmar. Es tractaria, per tant, de tres allaus de mida 3-4 en pràcticament 30 anys (des de la primera imatge a partir de la qual hi ha continuïtat d'imatges i presència de bosc per identificar els efectes, 1997, i fins a l'actualitat). En canvi, no hi ha informació observacional ni testimonial. La Figura 16 mostra també els resultats obtinguts a partir del model estadístic. Els indicis d'allaus queden per sobre dels 1.675 msnm. Per sota d'aquesta cota no hi ha més observacions d'allaus.

Tota aquesta informació permet estimar una freqüència/període de retorn en aquesta zona d'allaus. Aquesta informació és fonamental per contrastar els resultats obtinguts a la modelització dinàmica (punt 6).

5.1.1 Freqüència d'arribada de les allaus majors

La freqüència/període de retorn és una de les dues variables necessàries, junt amb la intensitat/magnitud, per a obtenir la perillositat. A partir dels esdeveniments documentats, dels indicis identificats, de les característiques geomorfològiques del terreny i del càlcul de l'abast estadístic, s'ha estimat la següent freqüència d'arribada segons l'abast (Figura 16):

- **Alta:** el període de retorn d'arribada d'allaus és de l'ordre dels 30 anys. Correspondria a un abast superior al de les allaus observades per fotointerpretació, que tindria un període de retorn de l'ordre dels 10 anys. El llindar

se situaria a la zona on el barranc fa el canvi de direcció (cota 1.650 msnm). Es tractaria d'allaus de fins a mida 4 aproximadament.

- **Mitjana:** el període de retorn d'arribada d'allaus és de l'ordre dels 100 anys. Correspondria a la cota al voltant del punt on el mètode estadístic situa el punt alfa (cota 1.520 msnm).
- **Baixa:** amb un període de retorn superior als 100 anys aniria més enllà del punt alfa, com a mínim, podrien arribar fins al punt on el model alfa-beta situa el punt alfa menys una desviació estàndard, que correspondria a la proximitat de l'ermita de Santa Margalida.

Amb la informació de l'inventari d'allaus i amb els resultats del model estadístic, no hi ha constància de que cap allau hagi saltat el dipòsit col·luvial en direcció a l'àmbit delimitat. No obstant, tot el llom nord-oest del dipòsit està desproveït de bosc i, per tant, una eventual allau no hagués quedat registrada.

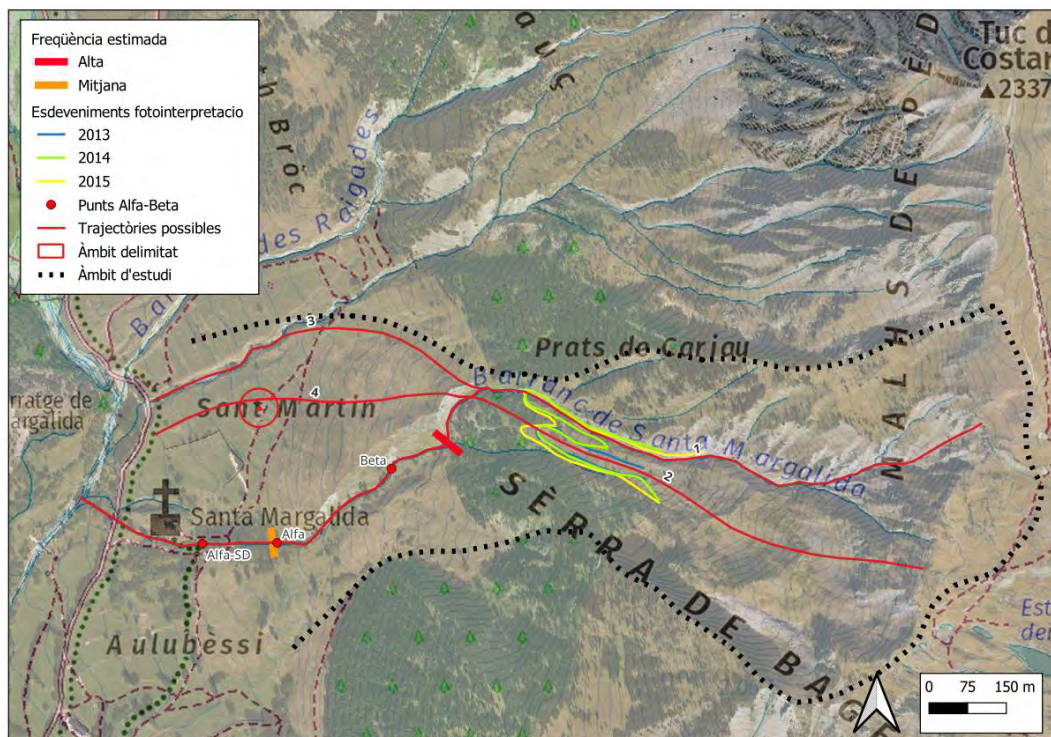


Figura 16. Freqüència estimada d'arribada de les allaus de la zona d'estudi a partir de la informació observacional i de l'aplicació de l'angle d'abast (model α - β).

5.2 Definició de les allaus majors de referència

Les allaus majors de referència s'han definit a partir de la matriu de perillositat proposada per l'ICGC⁸ (Figura 17).

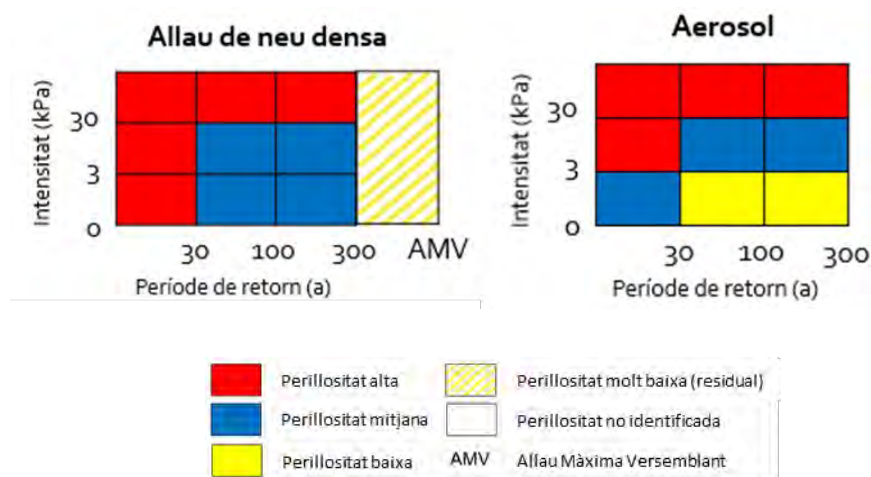


Figura 17. Matriu de perillositat.

Aquesta matriu, no normativa, garanteix un alt nivell de prevenció, i un baix risc residual. A més, incorpora el concepte francès d'AMV (Allau Màxima Versemblant), que permet tenir en consideració allaus més grans que les considerades de referència de 100 i 300 anys de període de retorn.

Atenent a aquesta matriu, s'ha considerat com a allaus màximes de referència les de període de retorn de 100 i 300 anys.

⁸ Oller, P., Janeras, M., Costa, O., García-Sellés, C., Muntán, E., Martí, G., Martínez, P. (2013). Avalanche hazard mapping plan for the Catalan Pyrenees. Proceeding of the ISSW 2013. Chamonix-Montblanc.

6 Modelització dinàmica

6.1 RAMMS

La modelització de la dinàmica d'allaus s'ha realitzat mitjançant el software RAMMS (Rapid Mass Movements), desenvolupat pel WSL Institut per l'estudi de la neu i les allaus SLF de Davos (Suïssa). Es tracta d'un programa de càlcul numèric de la dinàmica d'allaus a partir d'una simulació bidimensional sobre el Model d'Elevacions del Terreny (MET) que reproduïx un flux amb les variables d'alçada de flux i velocitat (Christen et al., 2008⁹). Per tant, permet calcular no només l'abast màxim o distància d'aturada, sinó també la distribució en el temps i al llarg del perfil del terreny de les variables d'alçada de flux, de velocitat i de pressió dinàmica exercida per allaus de flux dens. RAMMS permet visualitzar el recorregut de l'allau per sobre de la malla de superfície en 3D i analitzar la quantitat de moviment de l'allau.

La formulació mecànica es basa en les equacions de Voellmy-Salm d'allaus denses (model de mecànica de fluids), millorades per obtenir el càlcul dels paràmetres citats tot al llarg del perfil de la zona d'allaus. Els dos paràmetres més condicionants són els de fricció seca i turbulenta: μ i ξ . El coeficient de fricció de Coulomb, o fricció seca (μ) està relacionat amb el tipus de neu i la seva magnitud depèn de la densitat, la temperatura, el contingut d'aigua i la pressió de la neu perpendicularment a la superfície del terreny. El factor de fricció turbulenta (ξ) és semblant a un coeficient de resistència dinàmica. La seva magnitud depèn de la geometria i la rugositat del terreny. Els coeficients de fricció són els responsables del comportament del flux. μ domina quan el flux està a prop d'aturar-se, ξ domina quan el flux corre ràpidament. Tots dos són paràmetres empírics i s'han de calibrar a partir d'allaus conegudes. A partir de dades d'allaus reals ocorregudes al camp de proves del Vallée de la Sionne (Suïssa), el WSL-SLF proporciona la taula

⁹ Christen, M., Bartelt, P., Kowalski, J., Stoffel, L., 2008: Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. In: International Snow Science Workshop 2008, Proceedings. September 21-27, 2008. Whistler, BC, CAN. 709-716.

complerta dels valors de fricció a aplicar en funció de la mida de l'allau i del període de retorn i de l'altitud, de l'orografia i rugositat del terreny. A més, el model té en compte també la cohesió, que permet reproduir millor la tensió del flux i, per tant, el comportament dels diferents tipus de neu, així com també la curvatura, que permet reproduir millor l'acceleració centrífuga, funció de la velocitat i de la curvatura del terreny.

En el present estudi, s'ha utilitzat, a més, la versió estesa (*Extended*), del RAMMS que simula a la vegada la component densa (nucli dens) de l'allau, i l'aerosol (núvol de pols). Inclou la incorporació de la neu en la davallada de l'allau, així com altres processos, com temperatura i interacció de l'allau amb el bosc. El programa també inclou els mòduls de pressió d'impacte per al nucli dens i per al núvol de pols per determinar les càrregues de l'allau sobre les estructures. Es tracta d'una versió avançada del RAMMS (Bartelt et al. 2016)¹⁰, no comercial, que es cedeix a especialistes amb l'objectiu d'obtenir *feed-back* en la seva utilització.

En el model estès, el nucli de l'allau que flueix està constituït per grumolls i terrossos de neu (grànuls); el núvol està format per una barreja d'aire i pols de gel. El nucli es tracta físicament com un flux de cisalla granular impulsat per gravitació; el núvol es modela com una suspensió inercial i turbulenta. En la simulació existeixen dues capes de flux simultàniament, però amb diferents densitats de flux i velocitats. Les capes es formen per segregació natural a causa de la gran diferència de mides de partícules –pols (< 1 mm) i grànuls (> 1 cm)– i, per tant, velocitats d'assentament.

Una particularitat de l'eina d'allaus RAMMS estesa és el tractament de la incorporació de la neu al flux durant la davallada de l'allau (*entrainment*). El model d'incorporació de neu de RAMMS té en compte tant els fluxos d'energia tèrmics i els aleatoris associats a la interacció allau-mantell nival. El règim del flux de l'allau depèn de la temperatura de la neu mobilitzada en el desencadenament i de la neu incorporada. La incorporació de neu seca i freda contribuirà a la fluïdització del nucli de l'allau, inclòs el desenvolupament de règims de flux dispersos que inclouen esquixades de partícules (fronts de saltació) i la

¹⁰ Bartelt, P., O. Buser, C. Vera Valero, and Y. Bühler. 2016. Configurational energy and the formation of mixed flowing powder snow ice avalanches. *Annals of Glaciology* 57(71): 179–187.

formació de núvols de pols. La incorporació de neu càlida pot amortir aquests processos que condueixen a allaus denses i pesades. Tant la versió estesa de RAMMS, com la versió operativa, aplica la reologia de Voellmy al model de fricció de flux (Christen et al. 2010)¹¹. En la versió estesa, els paràmetres de fricció (Coulomb i fricció turbulenta) canvien dinàmicament amb el grau de fluïdització (densitat de flux aparent). Aquest canvi està controlat per la temperatura de la neu així com pel mecanisme d'incorporació de neu.

Dels resultats obtinguts amb el programari RAMMS s'extreu, per cada simulació, la distribució de pressions, velocitat, alçada de flux i densitat màxims, en format *ràster*.

6.2 Escenaris de simulació

Tal com s'ha indicat al punt 5.2, les allaus de referència serien les de T100 i T300. Tanmateix, i tenint en compte que l'àmbit delimitat es troba en una posició, a priori, protegida i allunyada de l'eix del barranc, distal i, per tant, allunyada de l'abast de l'allau; i tenint en compte que no hi ha indicis ni testimonis de que hagi estat abastada per cap allau, s'ha simulat directament l'allau de T300, amb l'objectiu de comprovar el possible abast amb un escenari de màxims. Aquesta, s'ha simulat segons les condicions que s'espera en un esdeveniment d'aquestes característiques:

- Trencament en placa d'una extensió i un gruix de neu corresponent a T300
- Condicions de neu seca i freda.

Per a tal finalitat, cal introduir les següents dades al programa RAMMS:

- Model digital del terreny
- Volum de neu mobilitzable
- Coeficients de fricció

¹¹ Christen, M., J. Kowalski, and P. Bartelt. 2010. RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Science and Technology* 63(1–2): 1–14.

- Cohesió
- Densitat
- Bosc
- Gradient de temperatura
- Gradient de gruix
- Incorporació de neu

6.2.1 Model digital del terreny

S'ha usat el model digital del terreny de l'ICGC amb malla de 5x5 m (Figura 18). No s'ha utilitzat el model de 2x2 m, més precís, perquè el mantell de neu té tendència a regularitzar el terreny, i el model 5x5, més suavitzat que el 2x2, és més representatiu del relleu en condicions hivernals.

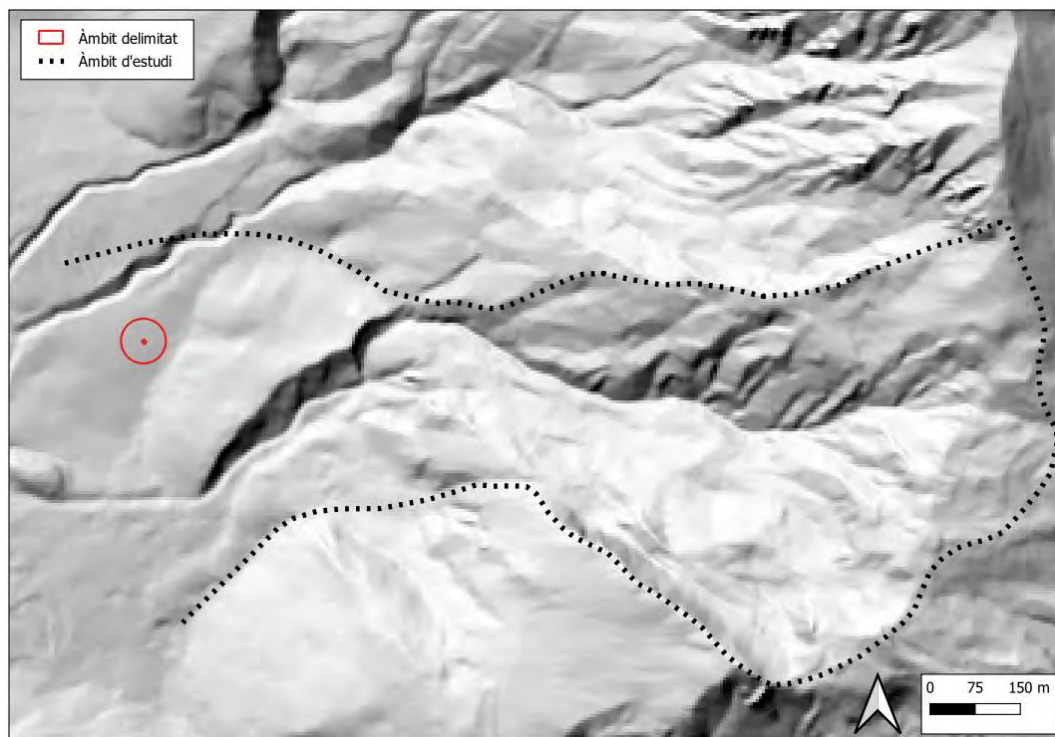


Figura 18. Model digital del terreny 5x5 de l'ICGC processat en mapa d'ombres.

6.2.2 Volum de neu mobilitzable

El volum de neu mobilitzable s'obté del producte de la superfície de la zona de sortida, pel gruix de neu mobilitzable, en aquest cas, per a un període de retorn de 300 anys.

6.2.2.1 Superfície de neu mobilitzable

La superfície de neu mobilitzable es determina a partir de l'anàlisi del terreny de la zona de sortida (pendents, rugositat, morfologia, orientació i cota, principalment), i de les trajectòries de les allaus conegudes.

La Figura 19 mostra les zones de sortida definides per a T300. Es tracta de 3 zones de sortida en un relleu força irregular, però s'han considerat en tota la seva extensió per simular un escenari de màxims. Per aquest motiu, s'ha considerat que, en cas d'un escenari major amb mantell connectat, es puguin activar totes a la vegada.

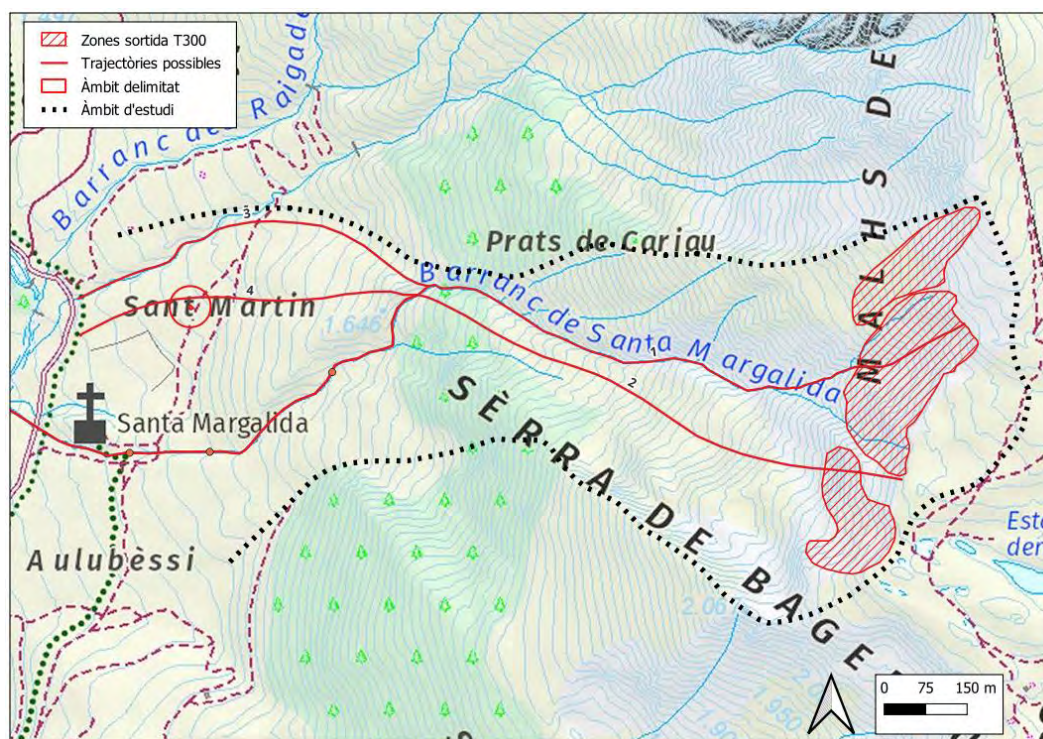


Figura 19. Zones de sortida definides per a T300.



Figura 20. Zones de sortida definides per a T300.

6.2.2.2 Gruix de neu mobilitzable

El gruix de neu mobilitzable està relacionat amb el període de retorn de les allaus de referència, i amb les nevades que les poden generar.

Per a cadascuna de les zones de sortida, s'ha aplicat el procediment indicat pel WSL-SLF¹² per a determinar el gruix de neu mobilitzable (d_0). Per a introduir el gruix de neu mobilitzable per a l'allau de referència es considera el gruix de neu acumulat en el període de retorn de referència. Aquest valor d'alçada del mantell de neu ΔH_n correspon a terreny horitzontal, i és vàlid per la cota en què s'ha registrat. En funció de si el gruix que s'aplica no inclou l'assentament (variable HN72), s'aplica per aquest concepte un factor (α) reductor, amb valors del 15% d'assentament per a 3 dies. Si es tracta de la variable DH3dd, que ja incorpora l'assentament, no s'aplica el factor α . A continuació es projecta aquesta alçada a un gruix perpendicular al terreny (d_0^*) per un angle base de 28° . També es té en compte una correcció altitudinal (C_a) de ± 5 cm de gruix de neu per

¹² Salm, B., A. Burkard, and H. Gubler, *Berechnung von Fliesslawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. 1990, Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Davos)

cada 100 m de desnivell suplementari des de la cota representativa de l'estació nivometeorològica fins al centre de la zona de sortida objecte d'estudi. Amb aquestes premisses es calcula el gruix de neu efectiu segons $d_0^* = ((\Delta Hn \cdot \alpha) + C_a) \cdot \cos 28^\circ$.

Per tal de convertir d_0^* a gruix de neu de sortida (d_0) es tenen en compte les característiques de la zona de sortida. Segons l'orientació, el gruix de neu efectiu s'incrementarà per l'efecte del vent (h_v) amb valors que poden arribar fins als 50 cm en condicions molt favorables a l'acumulació i, segons el seu pendent mig, s'aplica la correcció del factor de l'angle $f(\psi)$. Així, el gruix de neu de sortida i que s'utilitzarà a la modelització, es calcula segons $d_0 = (d_0^* + h_v) \cdot f(\psi)$.

Per a obtenir el valor DH3dd s'ha treballat amb les dades de l'estació de Bonaigua (2.266 msnm) del Meteocat, com a estació de referència per la seva proximitat i representativitat amb la zona d'estudi. La sèrie compta amb 27 temporades hivernals. No arriba a 30 temporades, el nombre mínim de registres recomanat per a l'estimació de probabilitats per a un període de 100 anys (OMM, Organització Meteorològica Mundial). Tanmateix, es tracta d'una de les estacions d'altura més longeves i representativa de la zona d'estudi. Per tant, s'ha considerat aquesta sèrie com la millor possible.

S'ha procedit a sumar els gruixos de neu recent acumulada en 72 h i extreure els valors màxims obtinguts per temporada hivernal. La (Figura 21) mostra els valors màxims de neu recent registrats per temporada en 72 h (DH3dd).

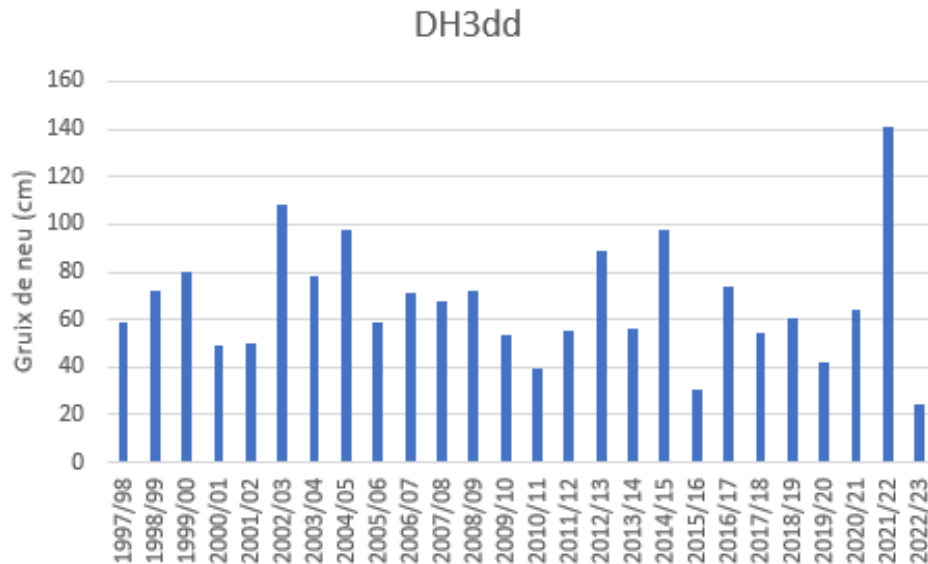


Figura 21. Gruix màxim anual de neu recent acumulat en 3 dies (DH3dd) a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.).

A partir de la sèrie de dades obtinguda per DH3dd s'han realitzat els tests de normalitat de Kolmogorov-Smirnov i Shapiro Wilk, obtenint-se uns valors d' α per sobre del 5% i, per tant, es pot considerar que la sèrie s'ajusta a una distribució normal.

A partir de l'ajust a la llei de distribució de Gumbel (Equació 1) s'han obtingut els valors corresponents a diferents períodes de retorn (Taula 2).

$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(X))}{d} \quad (\text{Eq. 1})$$

On,

$$F(X) = e^{-e^{-d(x-u)}}$$

$$u = \bar{x} - 0.450047S$$

$$\frac{1}{d} = 0.779696S$$

$\bar{x}$ = mitjana aritmètica de la sèrie de dades

S = desviació típica de la mostra de dades

Taula 2. Gruixos obtinguts per a diferents períodes de retorn, a partir de l'ajust a una distribució de Gumbel, a partir de les dades de gruix de neu acumulat en 3 dies (DH3dd) a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.).

T (a)	DH3dd (cm)
10	100
30	122
50	132
100	146
300	167

6.2.3 Coeficients de fricció

Els coeficients de fricció que utilitza el RAMMS, μ i ξ , són els principals responsables del comportament del flux. El WSL-SLF proporciona la taula completa dels valors de fricció a aplicar en funció de la mida de l'allau, del període de retorn, de l'altitud, de l'orografia i rugositat del terreny. Aquests coeficients s'assignen de forma automàtica, segons aquestes variables, que són identificades pel programa a partir del model digital del terreny, del volum de neu assignat a la zona de sortida i del període de retorn que es considera. En la versió estesa, aquests coeficients canvien dinàmicament amb el grau de fluïdització (densitat de flux aparent). Aquest canvi està controlat per la temperatura de la neu així com pel mecanisme d'incorporació de neu.

Segons el volum de neu mobilitzable, el RAMMS classifica les allaus en *Tiny* (volum <5.000 m³), *Small* (volum 5.000 m³ - 15.000 m³), *Medium* (volum 15.000 m³ - 60.000 m³) i *Large* (volum >60.000 m³).

Pel que fa al període de retorn, hi ha 4 classes: T10, T30, T100, T300.

6.2.4 Cohesió

El model té en compte també la cohesió de la neu, el qual permet reproduir millor la tensió del flux i, per tant, el comportament dels diferents tipus de neu.

Es considera, per allaus de neu seca, una cohesió entre 0 i 100 Pa. Per a una neu humida, una cohesió entre 100 i 200 Pa. Aquesta variable no té influència en l'abast de la massa de neu en moviment, sinó en com es disposa la neu al aturar-se l'allau, si de forma difosa, com en el cas de la neu seca, o concentrada, com en el cas de la neu humida. Per tant, la variació d'aquest paràmetre té certa influència en l'abast de l'allau, però limitada.

Amb la versió "estesa" del RAMMS, l'assignació d'aquest paràmetre és totalment automàtica.

6.2.5 Densitat

El WSL-SLF recomana aplicar, per defecte, una densitat de 200 kg/m³, densitat d'una neu recent amb cert grau de cohesió, corresponent a una placa tova, i fins a 450 kg/m³, corresponent al dipòsit de l'allau un cop la neu s'ha desplaçat i aturat.

6.2.6 Bosc

Al RAMMS original el bosc s'incorpora com una capa que condiciona uns coeficients de major fricció al terreny.

El RAMMS "Extended" disposa d'un mòdul que ajusta millor l'efecte del bosc en la dinàmica de l'allau. El mòdul té en compte les espècies d'arbres existents, les seves dimensions i robustesa. El mòdul permet simular l'efecte de frenada del bosc respecte a l'allau, i la pèrdua de massa d'aquesta al ser retinguda pel bosc.

6.2.7 Gradient de temperatura

A la versió “estesa”, es defineix un gradient de temperatura de la neu (Delta T). Es tracta de la variació, segons la cota, de la temperatura mitjana de la neu incorporable a l'allau. Els valors es troben entre els 0,3 °C i els 0,5 °C cada 100 m de desnivell. Segons la latitud de la serralada i la cota de referència, s'assigna una temperatura de referència que pot variar dels -3 °C als -8°C.

6.2.8 Gradient de gruix

De la mateixa manera que amb el gradient de temperatura, es defineix la variació del gruix del mantell (Delta D), segons la cota (versió “estesa”). El rang de valors per a la variació de gruix és de 0,03 a 0,05 m cada 100 m de desnivell.

6.2.9 Incorporació de neu

La incorporació de neu a l'allau es considera en la versió “estesa”. Ve controlada pel gruix de neu erosionable (d^*0) i la seva temperatura, i de la densitat d'erosió (de l'ordre de 200 kg/m³ segons el WSL-SLF), principalment.

6.3 Simulacions

Tal com s'ha indicat al punt 6.2, s'ha plantejat simular l'escenari de T300, de màxims, donada l'absència d'informació d'arribada d'allaus a la proximitat de l'àmbit delimitat. Tanmateix, prèviament s'ha simulat el possible escenari que hauria generat les allaus que han causat danys al bosc, visibles a les ortoimatges de 2013, 2014 i 2015. Aquest exercici permet contrastar la mida i ubicació de la zona de sortida, en relació amb les simulacions que es faran a posteriori per a reproduir l'allau de T300.

Dels resultats obtinguts amb el programari RAMMS s'extreu, per a cada zona d'allaus, la distribució de pressions, velocitat i alçada de flux en format *ràster* per tal d'analitzar-les amb la resta de dades de l'estudi. A l'Annex 1 (Plànols) es mostren cartogràficament els resultats obtinguts.

6.3.1 Reproducció de les allaus identificades a partir de fotointerpretació

Per a determinar la magnitud i zona possible de sortida de les allaus interpretades a partir dels indicis observats al bosc, s'ha fet una sèrie de simulacions iteratives. Com a gruix de neu de sortida, s'ha considerat el corresponent a T10 (100 cm), i amb una baixa influència del vent, donat que l'orientació és poc favorable a vents de nord-oest, i el vent de llevant, favorable, en aquesta zona és poc freqüent i és d'intensitat menor.

La Figura 22 mostra un dels resultats obtinguts, tot i que s'obtenen resultats similars situant la zona de sortida en altres punts de la conca central. Es tracta sempre de volums de neu categoritzats com a petits (S) o molt petits (T), segons la classificació de volums del RAMMS.

El resultat de la simulació mostra com l'allau segueix la trajectòria del tàlveg del barranc, dividint-se en dos braços a la cota 1.825 msnm tal com mostren els indicis. Tanmateix, al punt de canvi de direcció del barranc (cota 1.650 msnm), l'allau va molt encaixada i no hi ha cap desbordament. Segons la simulació, l'allau s'aturaria a la cota 1.575 msnm, tot i que no s'ha trobat indicis tan avall. De fet, no se n'ha trobat, perquè al tàlveg no hi ha arbres i, per tant, no se'n pot trobar. Per tant, és possible que l'allau arribi fins a l'altura de la cota 1.575 msnm amb un període de retorn de 10 anys, tal com indica la simulació.

Taula 3. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH018 per a T10 (T: període de retorn; Inf. Vent: susceptibilitat a la sobreacumulació de neu transportada pel vent; d_0 : gruix de neu de sortida perpendicular al terreny).

Zona de sortida	Pendent mitjà (°)	Cota mitjana (m)	T (a)	Àrea (m ²)	Inf. Vent (cm)	d_0 (m)	Volum (m ³)	Classe mida
ZS 9	44,1	2.056	10	9.820	Baixa (0)	0,53	5.205	Petita (S)

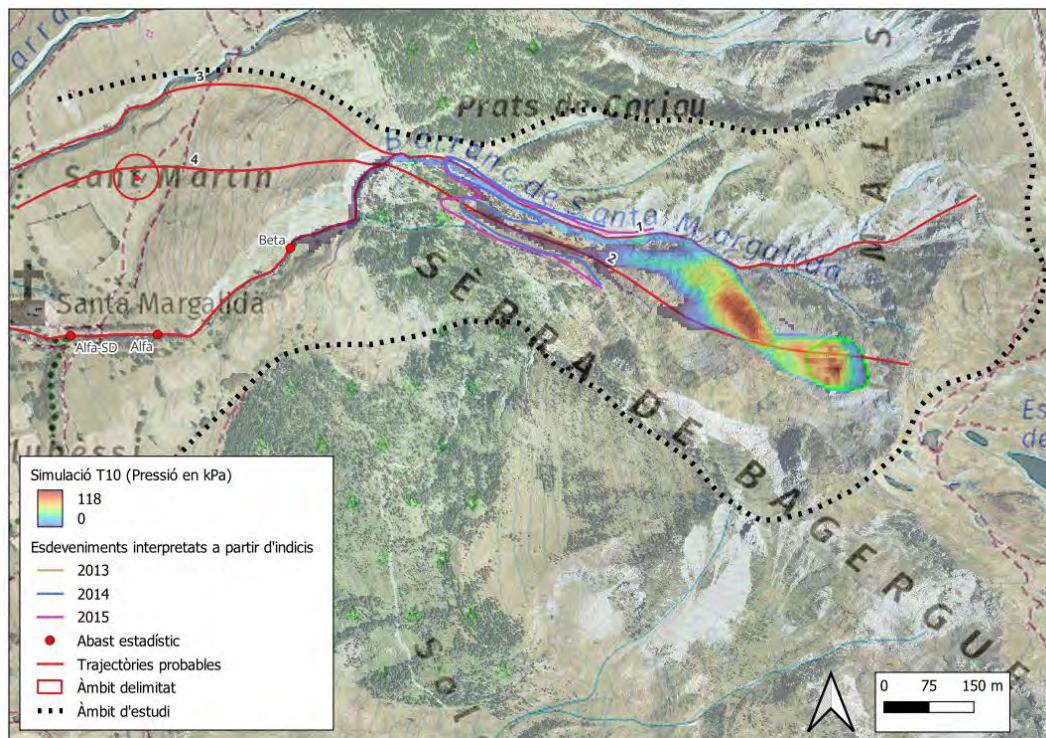


Figura 22. Abast i pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T10 per simular les allaus interpretades a partir dels indicis observats.

6.3.2 Escenari major de referencia de T300

Per a cada zona de sortida definida s'ha simulat un escenari de T300 com a escenari major de referència a considerar (escenari extrem).

Tal com s'indica al punt 6.2, l'escenari extrem considera unes condicions de neu seca, que permeten la formació d'una allau ràpida i de gran abast, i el desenvolupament d'un aerosol (núvol de pols).

La simulació s'ha realitzat sense considerar la presència del bosc, amb l'objectiu de plantejar l'escenari més pessimista, ja que el bosc pot desaparèixer per múltiples motius: incendis, allaus prèvies, tales, insectes, vent, sequeres, o combinació d'aquests factors. Per tant, per cada zona d'allaus es considera un escenari extrem en que el bosc no hi serà present.

D'acord amb les característiques del terreny, s'han delimitat 3 zones de sortida corresponent a les 3 conques/vessant principals de la gran conca de la zona de sortida UNH018. S'han considerat com si es tractés d'una sola allau, considerant un escenari extrem de 300 anys amb mantell connectat (Figura 19). S'ha aplicat el gruix DH3dd corresponent a T300 (167 cm) amb una influència mitjana del vent, degut a ser més favorable al vent de llevant o sud-est, menys freqüent i intens que el vent de nord i nord-oest, en aquesta zona. El volum resultant és de categoria mitjana a les 3 zones de sortida. La simulació mostra com s'inicien 3 trajectòries que s'uneixen en una única al barranc principal a la cota 1.900 msnm aproximadament. El nucli dens de l'allau segueix la trajectòria del tàlveg del barranc, arribant a l'ermita de Santa Margalida on es desconfina i s'expandeix. Al canvi de direcció del barranc, a la cota 1.650 msnm, el flux desborda una mica però de forma incipient, amb poca altura de flux i baixa velocitat. En canvi, el núvol de pols sí que superaria el dipòsit a contrapendent i podria arribar fins a l'altura de la borda, amb pressions molt baixes, de l'ordre de 0.1 kPa a l'altura de la borda.

Taula 4. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH018 per a T300 (T: període de retorn; Inf. Vent: susceptibilitat a la sobreacumulació de neu transportada pel vent; d₀: gruix de neu de sortida perpendicular al terreny).

Zona de sortida	Pendent mitjà (°)	Cota mitjana (m)	T (a)	Àrea (m ²)	Inf. Vent (cm)	d ₀ (m)	Volum (m ³)	Classe mida
ZS z1	36,7	2.172	300	24.903	Mitjana (25)	1,12	27.891	Mitjana (M)
ZS z2	40,8	2.122	300	59.451	Mitjana (25)	0,96	57.073	Mitjana (M)
ZS z3	40,7	2.087	300	28.408	Mitjana (25)	0,96	27.272	Mitjana (M)

Taula 5. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH018 per a T300 relatius a la capa de neu erosionable.

Gradient altitudinal de gruix (Delta D, m)	Temperatura (°C)	Gradient de temperatura (Delta T, °C)	Densitat (kg/m ³)	Gruix capa (d*0, m)
0,05	-4,0	0,5	200	1,4

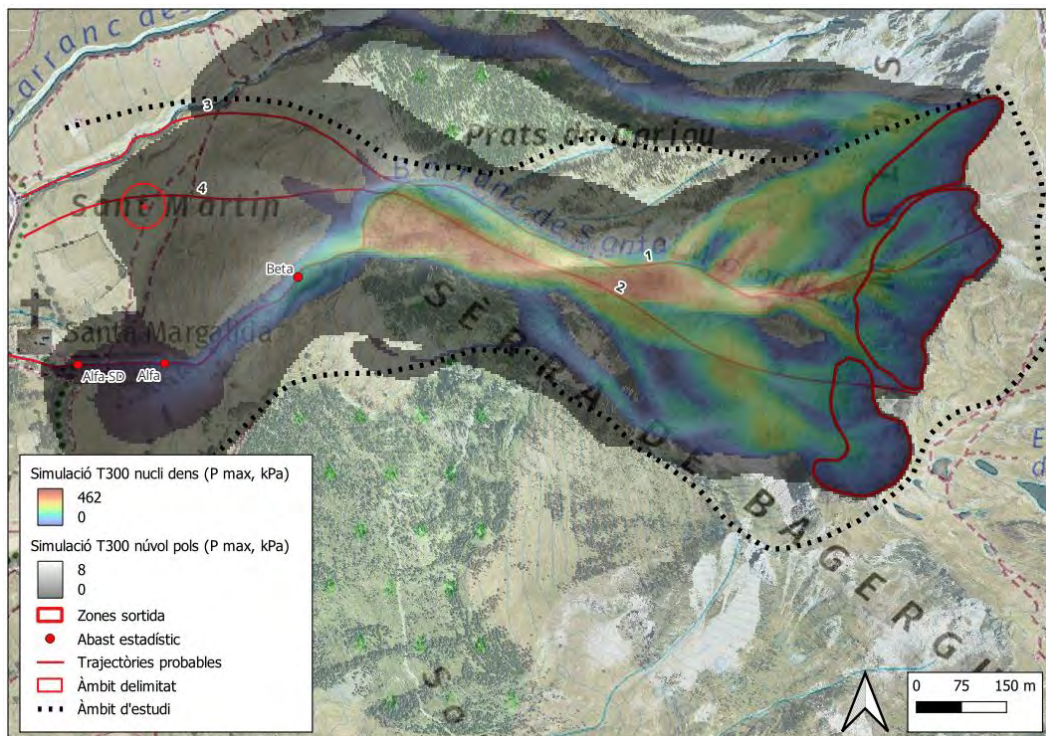


Figura 23. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per a la zona d'allaus UNH018.

No hi ha cap dada d'allaus històriques que permetin corroborar aquests resultats. Es tracta d'una simulació de màxims i entenem, per tant, de la banda de la seguretat. El nucli dens de l'allau, seguint el tàlveg del barranc, arribaria 42 m més enllà del punt α -SD, el qual indica que el resultat es troba pel costat de la seguretat.

El resultat indica que la borda es troba en perillositat baixa per l'abast de l'aerosol, però amb intensitat molt baixa, amb pressions de l'ordre dels 0,1 kPa. Amb aquestes condicions, es recomana que els vidres de les finestres siguin resistents a aquestes pressions, i que disposin de porticons.

7 Conclusions

A partir de la documentació antecedent, la informació de la visita sobre el terreny i les enquestes realitzades, la informació sobre allaus del passat, les dades meteorològiques, les dades de terreny, i el càlcul de la dinàmica de les allaus, s'ha analitzat la perillositat per allaus al barranc de Santa Margalida. Es conclou que:

- A la Base de Dades d'Allaus de Catalunya (BDAC-ICGC) no hi ha informació d'allaus observades ni informació testimonial.
- Els esdeveniments d'allaus recents destructius interpretats a partir de la fotointerpretació, no han superat la cota 1.700 msnm, segons els indicis existents.
- La modelització estadística mostra probabilitat d'abast fins la cota 1.520 msnm, i amb baixa probabilitat fins a l'altura de l'ermita de Santa Margalida (cota 1.495 msnm), sempre seguint l'eix central del barranc.
- La modelització dinàmica mostra, per a T300, com el nucli dens de l'allau segueix la trajectòria del tàlveg del barranc, arribant a l'ermita de Santa Margalida on es desconfina i s'expandeix. Al canvi de direcció del barranc, a la cota 1.650 msnm, el flux desborda una mica però de forma incipient, amb poca altura de flux i baixa velocitat. En canvi, el núvol de pols sí que superaria el dipòsit a contrapendent i podria arribar fins a l'altura de la borda, amb pressions molt baixes, de l'ordre de 0.1 kPa a l'altura de la borda.

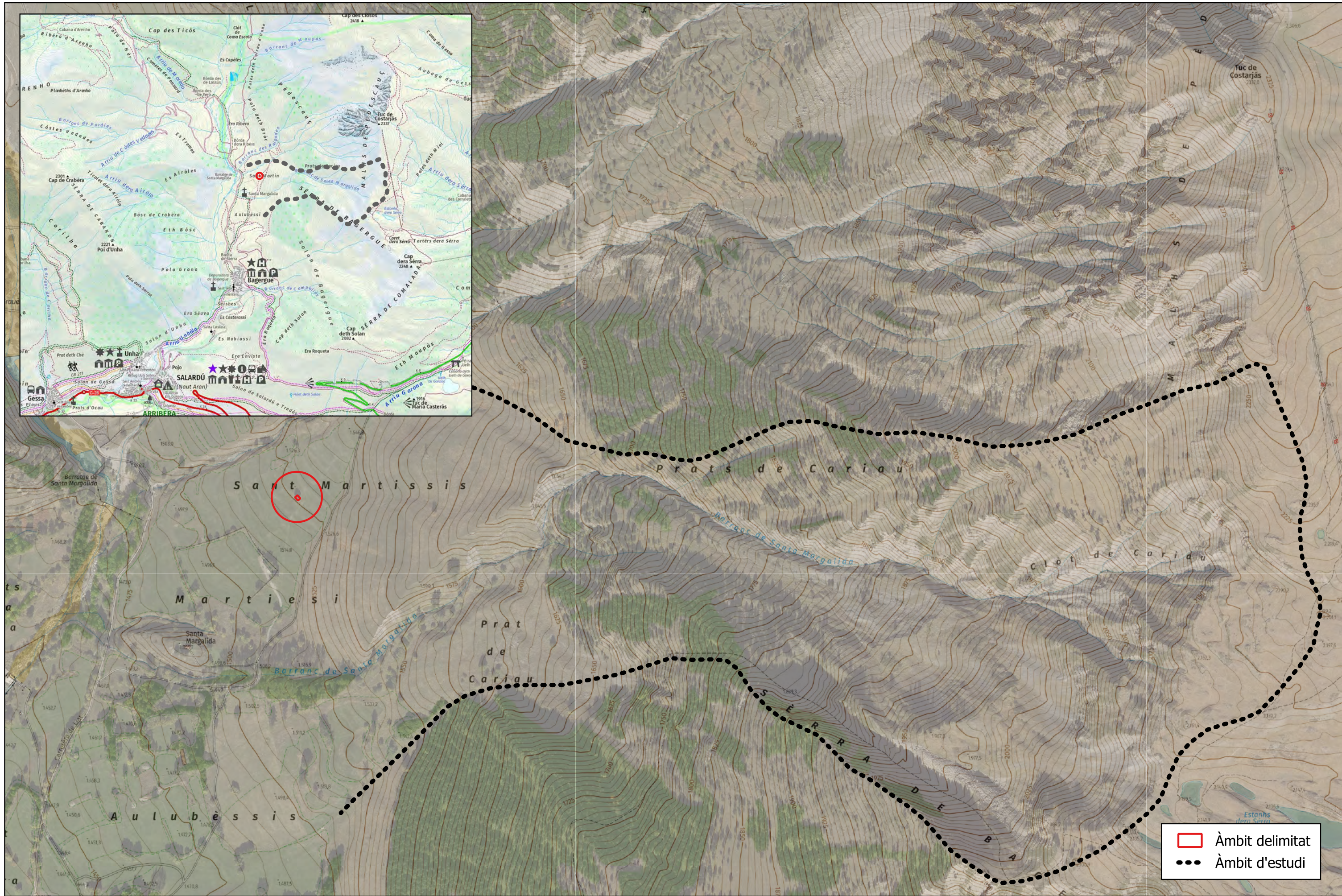
Per tant, donats els resultats obtinguts, es conclou que la perillositat a l'àmbit delimitat és baixa per l'abast de l'aerosol, amb pressió dinàmica màxima de 0,1 kPa. Es recomana que els vidres de les finestres de la borda siguin resistents a aquestes pressions, i que disposin de porticons.

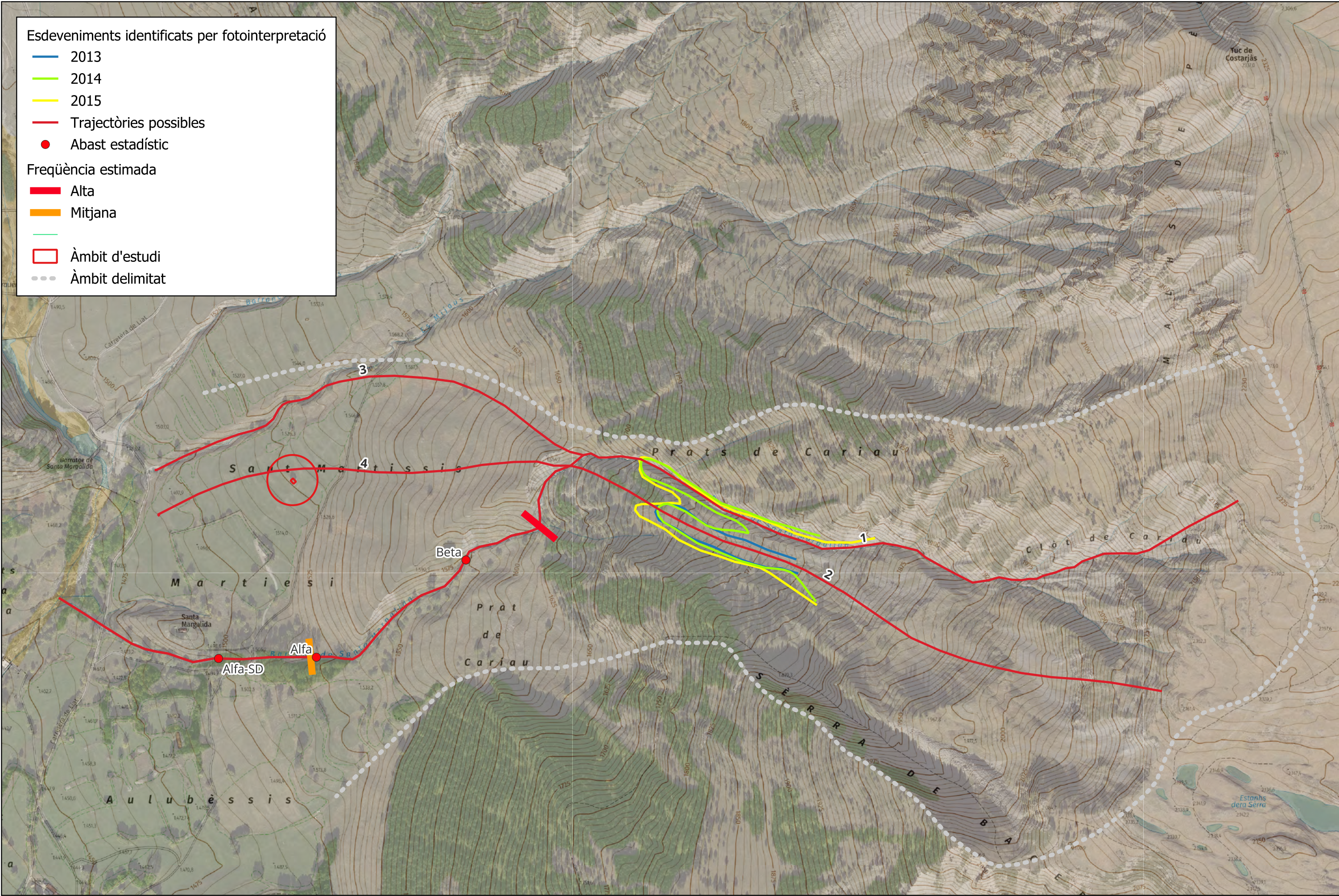
Barcelona, maig de 2025

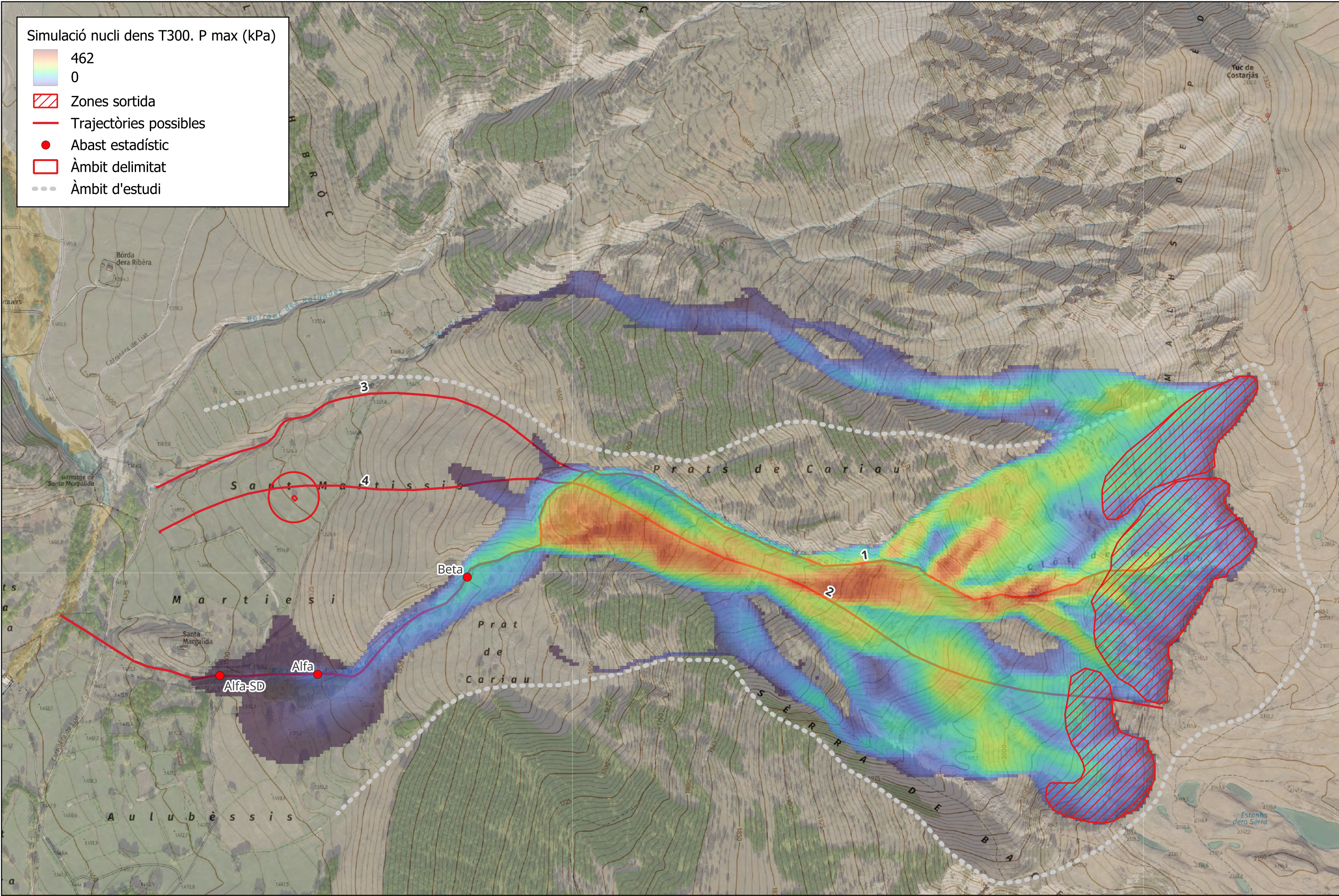
Pere Oller Figueras
Geòleg col·legiat 7444
GeoNeu Risk

Laura Trabal Garmon
Geòloga
GeoNeu Risk

ANNEX 1. PLÀNOLS







Simulació nucli dens T300. P max (kPa)

462

0

Zones sortida

Trajectòries possibles

Abast estadístic

Àmbit delimitat

Àmbit d'estudi

