

Estudi de detall de la perillositat d'allaus al SAU3 de Bagergue, municipi de Naut Aran (Val d'Aran)

Codi: GNR-210702

Abril 2024



TAULA DE CONTINGUTS

1	Introducció	1
1.1	Objectius de l'estudi.....	1
1.2	Àmbit i zona d'estudi.....	1
1.3	Antecedents.....	2
1.4	Tasques realitzades.....	4
1.5	Limitacions de l'estudi.....	5
2	Marc geogràfic i nivoclimàtic.....	6
2.1	Marc geogràfic.....	6
2.2	Marc geològic	6
2.3	Marc nivoclimàtic	7
2.4	Cartografia d'allaus (informació existent a la BDAC).....	11
3	Anàlisi del terreny	12
3.1	Indicis en la vegetació	19
4	Inventari d'allaus, informació històrica i testimonial.....	22
4.1	Informació testimonial.....	25
4.2	Fonts històriques	26
5	Anàlisi nivoclimàtica.....	28
5.1	Gruix de neu	29
5.2	Vent.....	32

5.3	Temperatura	33
6	Modelització empírica-estadística	35
7	Reconstrucció del registre d'allaus. Situació d'allaus	38
7.1	Freqüència d'arribada de les allaus majors.....	38
8	Definició de les allaus majors de referència	40
9	Modelització dinàmica.....	41
9.1	RAMMS	41
9.2	Escenaris de simulació	43
9.2.1	Model digital del terreny.....	44
9.2.2	Volum de neu mobilitzable	45
9.2.2.1	Superfície de neu mobilitzable	45
9.2.2.2	Gruix de neu mobilitzable	46
9.2.3	Coeficients de fricció.....	48
9.2.4	Cohesió	49
9.2.5	Densitat	49
9.2.6	Bosc	49
9.2.7	Gradient de temperatura.....	50
9.2.8	Gradient de gruix	50
9.2.9	Incorporació de neu	50
9.3	Simulacions	50

9.3.1	Escenari major de referencia de T300 per a UNH005.....	51
9.3.2	Escenari major de referencia de T300 per a UNH007.....	52
9.3.3	Escenari major de referència de T300 per a UNH008.....	53
9.3.4	Escenari major de referència de T300 per a UNH009.....	54
9.3.5	Escenari major de referència de T300 per a UNH009b.....	55
9.3.6	Escenari major de referència de T300 per a UNH012.....	56
10	Proposta de protecció	58
11	Conclusions	61

ANNEX 1. FITXES D'OBSERVACIONS D'ALLAUS I ENQUESTA

ANNEX 2. DISTRIBUCIÓ VERTICAL DE PRESSIÓ DE L'AEROSOL

ANNEX 3. PLÀNOLS

1 Introducció

1.1 Objectius de l'estudi

El present estudi ha estat sol·licitat per la Junta de Compensació del SAU 3 de Bagargue. Té per objectiu la definició del perill d'allaus dins del polígon SAU3 de la població de Bagargue, municipi del Naut Aran, en relació amb el desenvolupament urbanístic del mateix, i en base a la zonificació de la perillositat establerta en l'informe realitzat per l'IGC: "Zona pilot de zonificació del perill d'allaus: Unha i Bagargue (Naut Aran) (ALL-010/10), de juny de 2010", i es defineix una solució per a la reducció de la perillositat.

1.2 Àmbit i zona d'estudi

La zona a estudiar correspon a l'àmbit del SAU3 de Bagargue (àmbit delimitat), municipi de Naut Aran (Figura 1). Es troba al sud-est del nucli de Bagargue, entre les cotes 1.410 i 1.451 m s.n.m. Té una àrea de 17.191 m².



Figura 1. Àmbit delimitat.

Pel que fa a la zona d'estudi, s'ha delimitat considerant els vessants adjacents a l'àmbit delimitat i d'on poden desencadenar-se les allaus amb trajectòria en direcció a aquest (Figura 2). Inclou la capçalera de les serres de Comalada i Bagergue, i les seves conques subjacents, fins la cota més elevada, al Cap dera Sèrra (2.248 m s.n.m.), a l'extrem més oriental. Té una superfície de 162 ha.

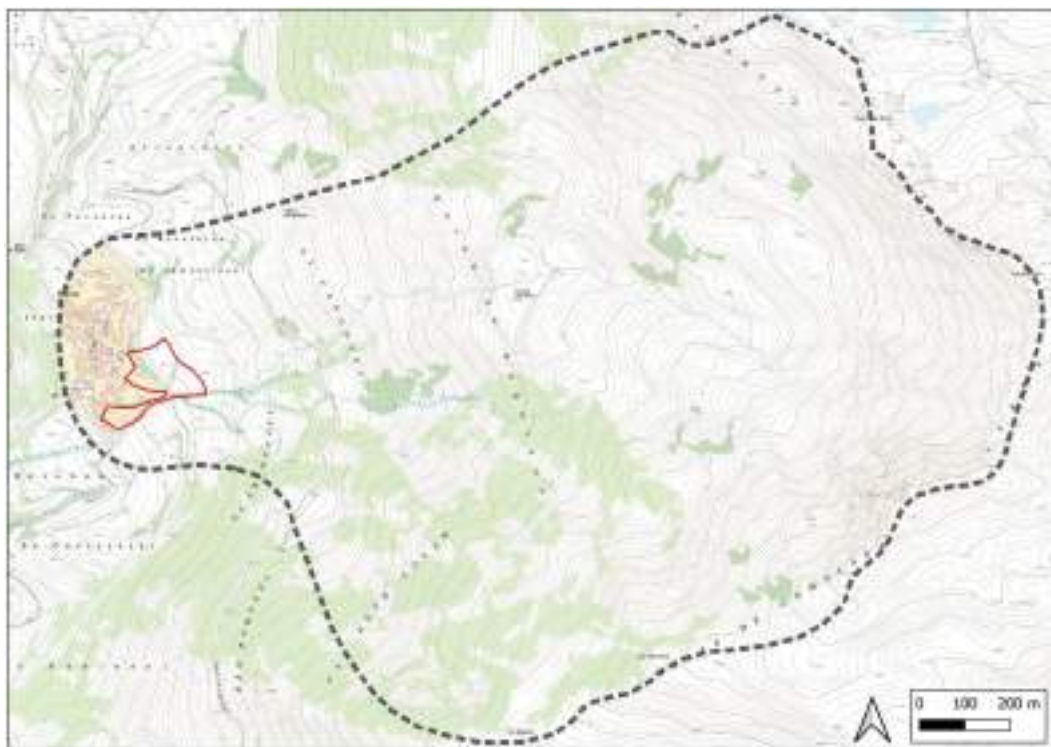


Figura 2. Àmbit d'estudi.

1.3 Antecedents

Com a principal document precedent es disposa de l'informe realitzat per l'IGC: "Zona pilot de zonificació del perill d'allaus: Unha i Bagergue (Naut Aran) (ALL-010/10)", de juny de 2010 (en endavant, [Doc. 1]).

Es tracta d'un estudi pilot de zonificació del terreny segons la perillositat per allaus que l'IGC va realitzar l'any 2010, on s'apliquen els criteris de zonificació definits en diferents països alpins, i on finalment es fa una proposta de zonificació adaptada al Pirineu de

Catalunya (Figura 3). Aquest treball va ser realitzat per un grup d'especialistes multidisciplinar que van recollir gran quantitat d'informació. Aquesta informació ha estat utilitzada per a la realització del present treball. En aquest grup, hi havia inclòs l'especialista suís Stefan Margreth, del WSL-SLF (Institut Federal Suís per l'estudi de la neu i les allaus), que va aplicar per primera vegada als Pirineus la simulació 2D d'allaus amb el programari RAMMS, simulacions a partir de les quals es van realitzar zonificacions de perillositat per allaus als nuclis d'Unha i Bagergue.

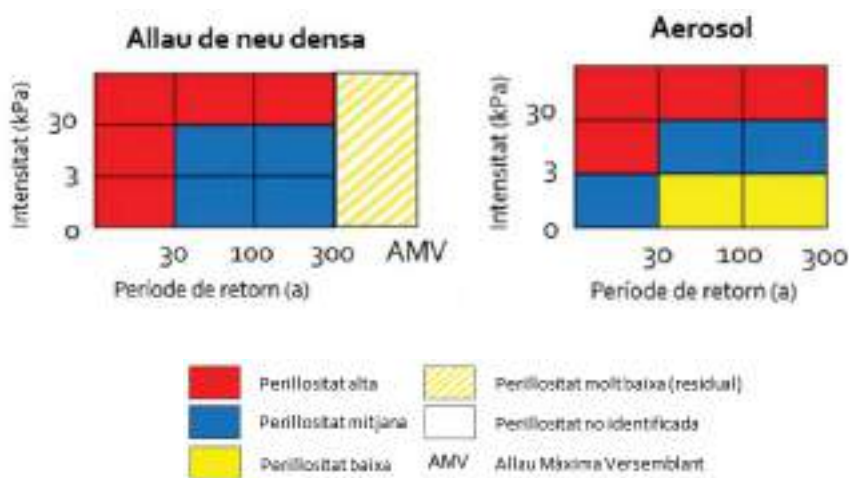


Figura 3. Matriu de perillositat.

En la zonificació de Bagergue (Figura 4), s'observa com el SAU3 (àmbit delimitat) es troba principalment en zona de perillositat mitjana i baixa, i tan sols puntualment, en zona de perillositat alta. Per tant, es tracta d'una zona on s'hi pot edificar, tenint en compte la perillositat existent.

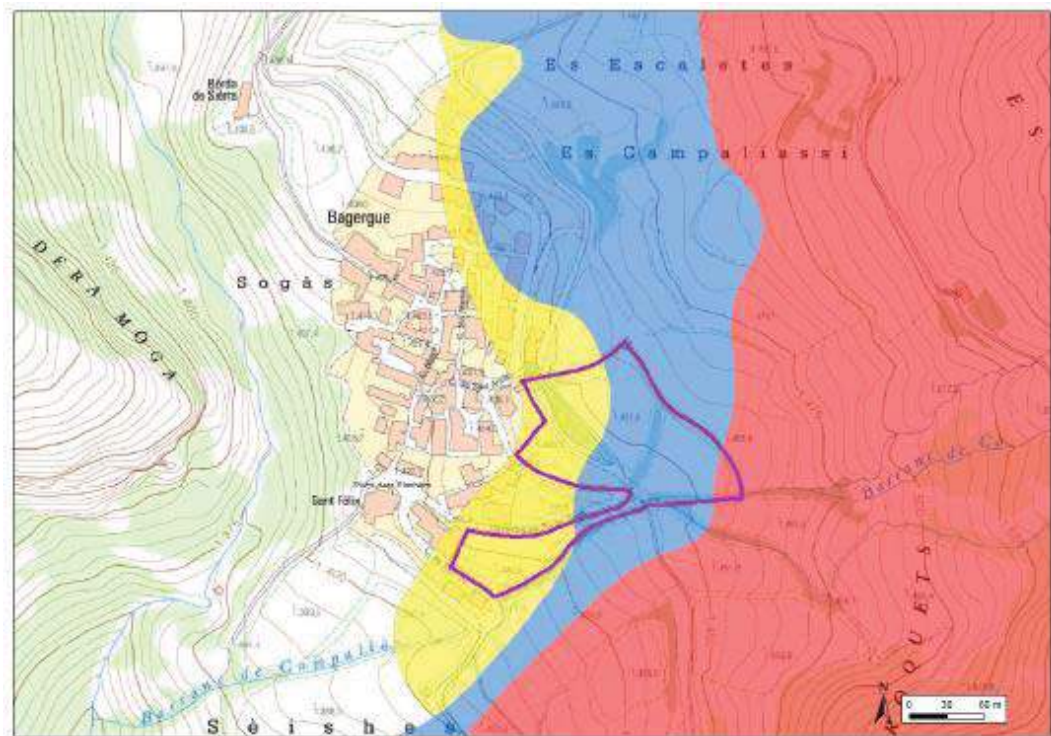


Figura 4. Zonificació del terreny segons la perillositat per allaus obtinguda en l'informe ALL-010/10. S'hi ha afegit els límits del SAU3 (en violeta, àmbit delimitat).

1.4 Tasques realitzades

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

1. Revisió de la documentació antecedent.
2. Preparació de la cartografia de base (topogràfica, ortoimatges, mdt) i mapes derivats (ombres, pendents) en un entorn SIG.
3. Revisió fotointerpretativa d'ortoimatges des de 1945 fins a l'actualitat.
4. Inspecció de la zona sobre el terreny, per a la identificació d'indícis d'allaus recents i antigues.
5. Cerca d'informació històrica i testimonial.

6. Definició dels escenaris majors de referència.
7. Anàlisi nivoclimàtica. Caracterització nivoclimàtica de l'àmbit d'estudi i establiment dels gruixos de neu de referència per a la modelització de les allaus de referència.
8. Modelització de la dinàmica de l'allau amb el programari suís RAMMS::EXTENDED per a l'allau de neu densa, i per a la component d'aerosol.
9. Determinació de les accions de les allaus al SAU3, i definició de les recomanacions constructives.
10. 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 la nostra experiència, la documentació antecedent, la informació de la visita sobre el terreny i de les enquestes realitzades, la informació sobre allaus del passat, les dades nivometeorològiques, les dades de terreny i 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.

2 Marc geogràfic i nivoclimàtic

2.1 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, al nucli de Bagargue, al voltant de la cota 1.450 m (Figura 5), a la proximitat de l'estació d'esquí de Baqueira-Beret i del Port de la Bonaigua. Es troba al peu de la coma anomenada Solan de Bagargue, que queda tancat per les serres de Bagargue i Comalada, amb cota culminant a 2.248 m s.n.m. (Cap dera Serra).



Figura 5. Marc geogràfic.

2.2 Marc geològic

A la zona d'estudi hi afloren materials paleozoics que formen part del mantell de les Nogueres (Figura 6). Es tracta de sèries sedimentàries del Devonià, formades per pissarres, calcàries i lutites. Són materials antics, relativament tous, que donen un relleu

relativament suau, travessat per escarpaments (malls) de roca més dura, de la unitat Dpf (pissarres i intercalacions de calcàries). Tanmateix, aquets materials del substrat estan coberts per la unitat Qco, dipòsits col·luvials quaternaris i, a l'extrem occidental, zona on se situa l'àmbit delimitat, per la unitat Qve, vessants d'esbaldregalls segons el mapa geològic 1:50.000 de l'ICGC.

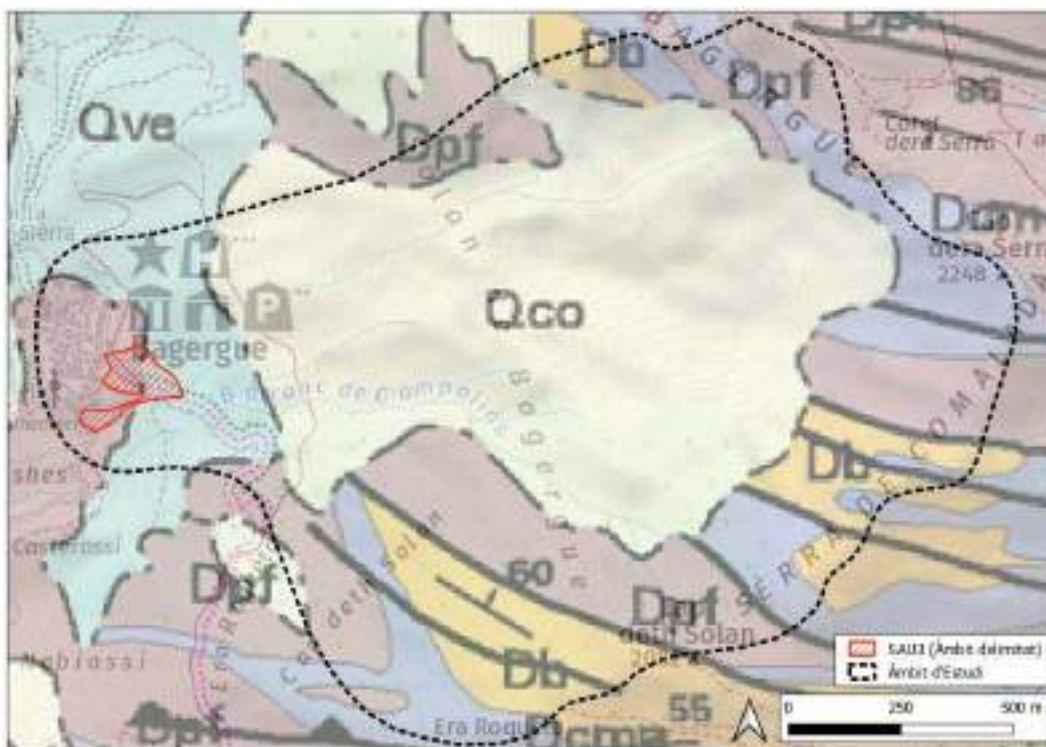


Figura 6. Litologia de la zona d'estudi segons el Mapa Geològic de Catalunya 1:50.000. Dpf: Pissarres fosques i algunes intercalacions de calcàries; Formació Fontjanina, Devonià inferior; Dcma: Calcàries, calcària de Sant Esteve i calcària amb Coralls, calcària de Montcorbissun, calcària d'Auran, Devonià mitjà - Devonià superior; Db: Alternança de lutites verdoses i grisoses i gresos de gra fi i capes de calcàries, alternança de Riu Nere, Devonià superior; Qco: Dipòsits col·luvials, argiles amb còdols angulosos dispersos, Holocè; Qve: Blocs i graves, vessant d'esbaldregalls, Holocè.

2.3 Marc nivoclimàtic

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 (Atles Climàtic de

Catalunya). 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., 2007¹, 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 fresca 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).

Les situacions més típiques són:

- Situació de NE: acostuma a ser freda i seca. Si té component marítim, pot aportar humitat i, per tant, precipitacions de neu.

¹ 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.

- Situació de N: acostumen a ser seques, però si tenen origen polar amb recorregut per l'atlàntic poden donar precipitacions intenses, sobretot si la corrent en jet es posa perpendicular als Pirineus.
- Situació de NO: és la més freqüent i que aporta més precipitació. Acompanyada de vent moderat.
- Situació d'O (ponent): situació en que arriba aire més càlid per reescalfament i es poden produir precipitacions, que poden ser líquides a cotes altes.
- Situació de SO i S: situació d'entrada de vent càlid i, per tant, de precipitacions amb cota alta de neu.
- Situació d'E: increment de temperatura i nuvolositat, generalment sense precipitació a la vall d'Aran.

A nivell de freqüència d'episodis d'allaus majors, per a un període de 20 anys, s'observa com aquesta zona (zona GA, Figura 7) es troba en el sector on es registra la major freqüència d'ocurrència d'episodis majors (Oller et al, 2015)². De tot el sector occidental, és la regió on hi ha menys variabilitat en relació als patrons atmosfèrics que l'afecten (Figura 8) 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.

² 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.

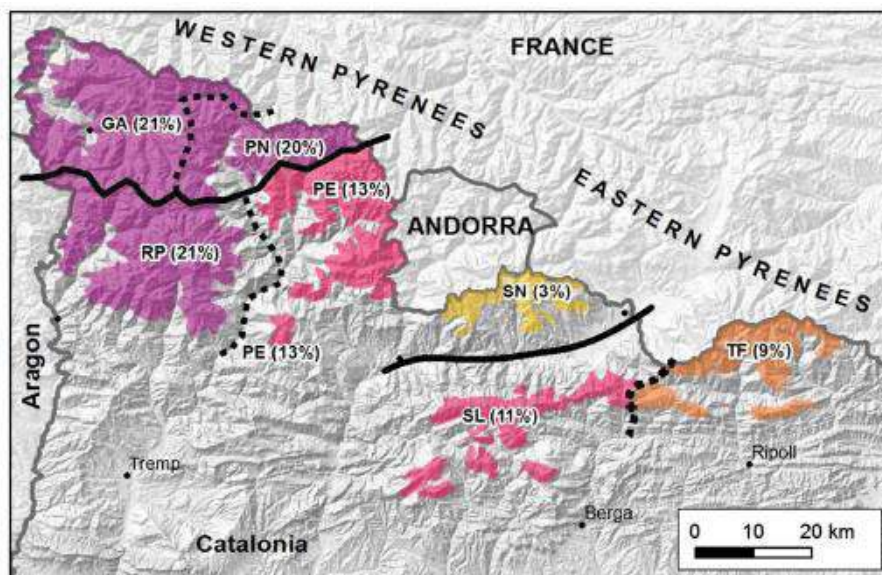


Figura 7. Freqüència d'ocurrència d'episodis d'allaus majors al Pirineu de Catalunya els darrers 20 anys (Oller et al., 2015).

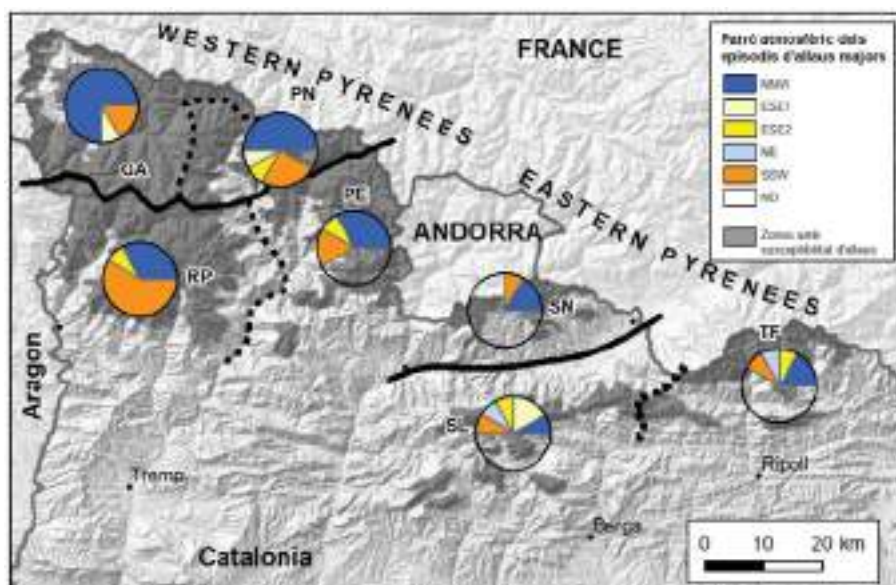


Figura 8. Patrons atmosfèrics associats als episodis d'allaus majors registrats al Pirineu de Catalunya els darrers 20 anys, segons les regions nivològiques majors (Oller et al., 2015).

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

A la BDAC (Base de Dades d'Allaus de Catalunya, Figura 9) de l'ICGC hi ha inventariades, dins de la zona d'estudi, 5 zones d'allaus que s'acosten a la població de Bagargue, essent l'entrada del poble on aquestes arriben fins a una cota més baixa. Les zones d'allaus són: UNH005, UNH007, UNH008, UNH009 i UNH012. De totes aquestes, a la zona d'allaus UNH005 hi ha testimonis que l'han observat arribar fins al polígon representat en color violeta, a l'entrada del poble. Pel que fa a observacions d'allaus recents (allaus observades els darrers 30 anys principalment, representades en blau), en aquesta zona hi ha poques allaus inventariades, la majoria es concentren a la part alta de la zona d'allaus UNH009.

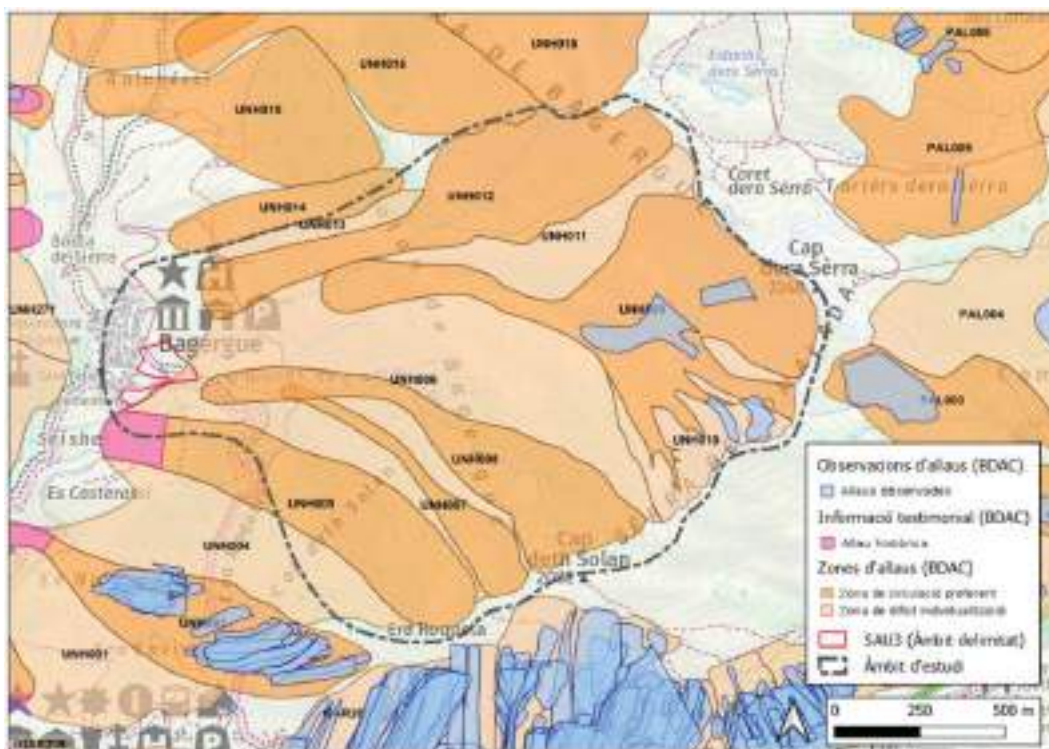


Figura 9. Cartografia d'allaus registrades a la BDAC, de la zona d'estudi.

3 Anàlisi del terreny

L'àmbit d'estudi correspon a la conca que, per l'est, drena les aigües cap al nucli de Bagergue i cap al riu Unhòla. Es coneix pel "Solan de Bagergue". Es tracta d'un circ constituït per les serralades de Comalada, al sud, de direcció SO-NE, i de Bagergue, al nord, de direcció NO-SE, amb cota màxima al punt d'unió d'ambdues, Cap dera Serra, de 2.248 m s.n.m. Les zones d'allaus definides a l'obaga de la serra de Comalada (UNH005, UNH007, UNH008) tenen una orientació nord, i tenen un fort pendent fins arribar a la proximitat de l'àmbit delimitat i població de Bagergue, a la cota 1.450 m s.n.m. aproximadament. En canvi, les que s'han delimitat a la serra de Bagergue (UNH009, UNH012) tenen orientació sud-est aproximadament i, malgrat el fort pendent de la zona de sortida, a la zona intermitja de la zona de trajecte (entre les cotes 1.900 m s.n.m. i 1750 m s.n.m.) es troben amb una considerable disminució del pendent, per tornar a incrementar-se per sota de la cota 1.750 m s.n.m., fins arribar a la proximitat de Bagergue.

La Figura 10 mostra els pendents de l'àmbit d'estudi obtinguts a partir del model digital d'elevacions 5x5 m de l'ICGC. A la Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 16 i Figura 18 s'ha representat els perfils topogràfics representatius de les zones d'allaus UNH005, UNH007, UNH008, UNH010 i UNH009, segons les trajectòries que poden afectar a l'àmbit d'estudi, on es pot visualitzar els pendents característics i els trets geomorfològics principals.

S'observa com els pendents més elevats ($>45^\circ$) es troben a la capçalera de la serra de Bagergue, corresponen a escarpaments rocosos. Al peu d'aquests, el vessant redueix considerablement el pendent, mentre que a l'obaga de la serra de Comalada, malgrat els pendents no ser tant forts, es mantenen molt constants fins a la proximitat de la població de Bagergue.

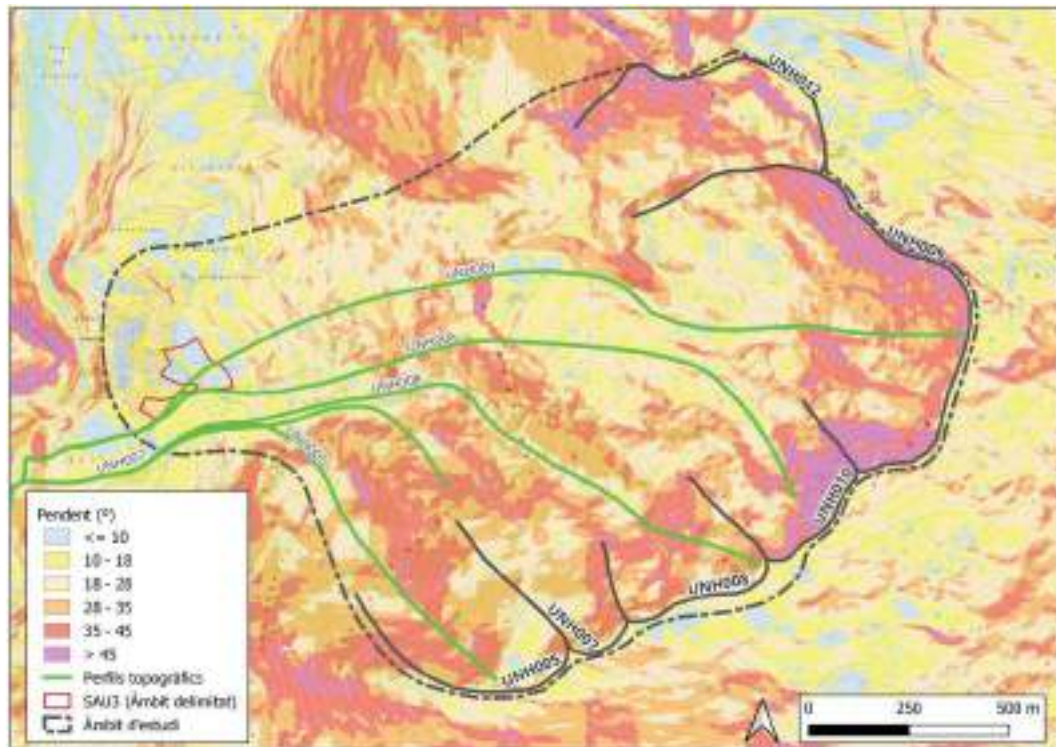


Figura 10. Pendents de la zona d'estudi generats a partir del model digital del terreny de 5x5 m. Les línies verdes corresponen als perfils topogràfics representats a la Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 16 i Figura 18 (línies centrals representatives de les zones d'allaus).

Un aspecte a considerar és la important recuperació del bosc a tot l'àmbit d'estudi, però en especial a l'obaga de la serra de Comalada. Si es compara l'ortoimatge de 1945 amb l'actual (Figura 11), s'observa com l'extensió del bosc ha passat de ser pràcticament inexistent, a cobrir la major part del vessant. Aquesta ràpida recuperació del bosc es deu principalment a les reforestacions efectuades durant els anys 1970 en aquesta zona. Aquest aspecte és important ja que té influència en el desencadenament i davallada de les allaus.



Figura 11. Estat del bosc l'any 1945 (imatge superior), i actualment (imatge inferior).

Les zones d'allaus UNH005, UNH007 i UNH008 (Figura 12, Figura 13, Figura 14), tenen perfils molt similars, amb pendents de zones de sortida entre els 35° i 40°, i al voltant dels 28° a la zona de trajecte, i pendents de 15° a partir del camí vell de Montgarri. Aquestes zones d'allaus estan molt forestades, però tenen sectors sense vegetació arbòria amb clars indicis d'afectació per allaus (Figura 15).

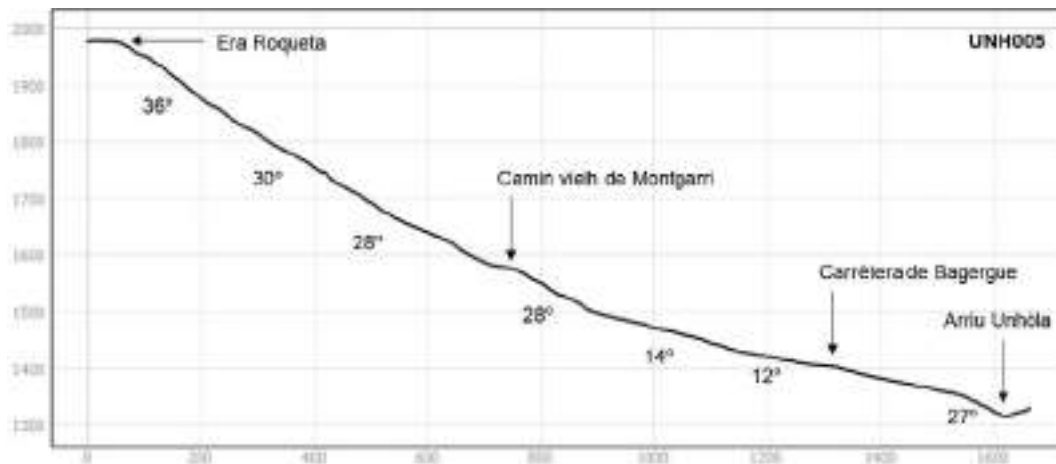


Figura 12. Perfil de la zona d'allaus UNH005.

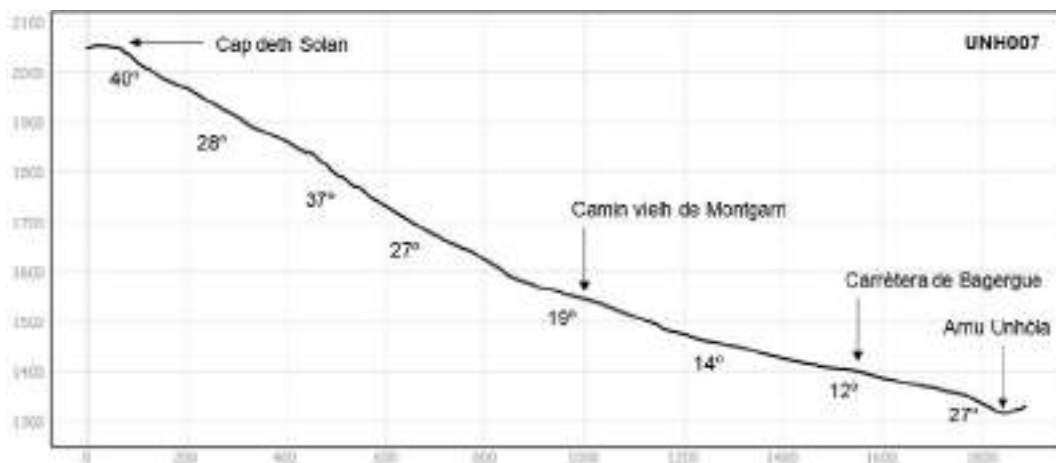


Figura 13. Perfil de la zona d'allaus UNH007.

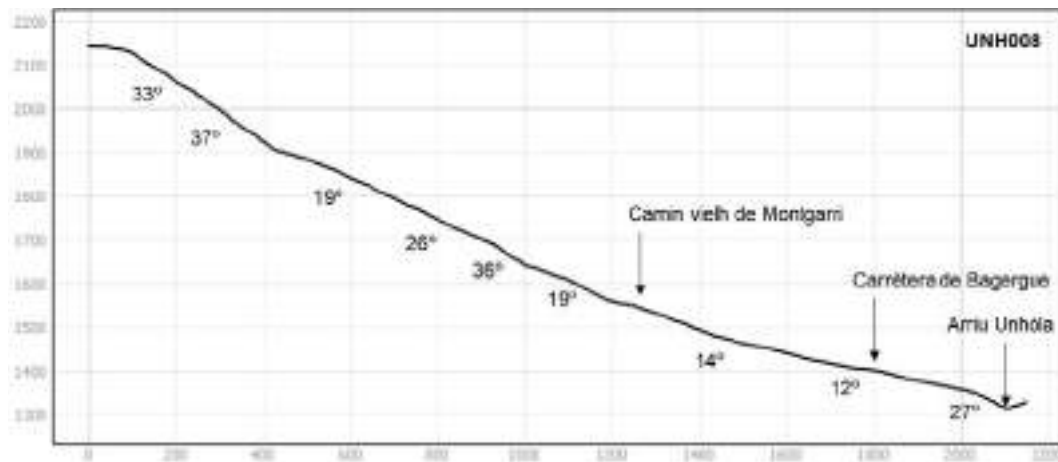


Figura 14. Perfil de la zona d'allaus UNH008.



Figura 15. Zones de sortida de les zones d'allaus UNH005 a UNH008.

La zona d'allaus UNH009 (Figura 16), tot i tenir una zona de sortida amb considerable pendent (37°), aquest es redueix notablement al seu peu fins a 14°, i 6° al seu extrem (cota 1.750 m s.n.m.). En aquest punt el terreny fa un graó (cabana dera Serra), per tornar a incrementar el pendent per sota d'aquesta cota (pendent de 42-43°), fins arribar

al SAU3, on hi ha pendents d'11°. Aquí, a diferència de les zones d'allaus de l'obaga de la serra de Comalada, no hi ha bosc, o és molt escadusser.

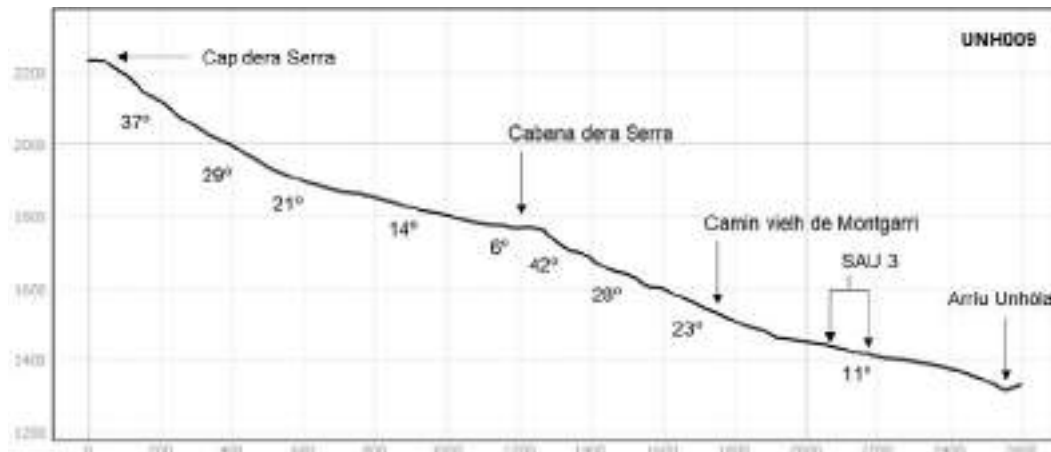


Figura 16. Perfil de la zona d'allaus UNH009.



Figura 17. Zona de sortida de la zona d'allaus UNH009.

La zona d'allaus UNH012 (Figura 18) té una trajectòria que evita el planell per on davalla la zona d'allaus UNH009 i té un pendent més mantingut, tot i que no tant accentuat com

les zones d'allaus de l'obaga de la serra de Comalada. Aquí els pendents de la zona de trajecte es troben per sota dels 25°. A l'extrem més distal se situa la població de Bagargue, en un pendent de 6°, al peu d'un pendent de 14°. Aquesta zona d'allaus presenta també molt poc bosc actualment.

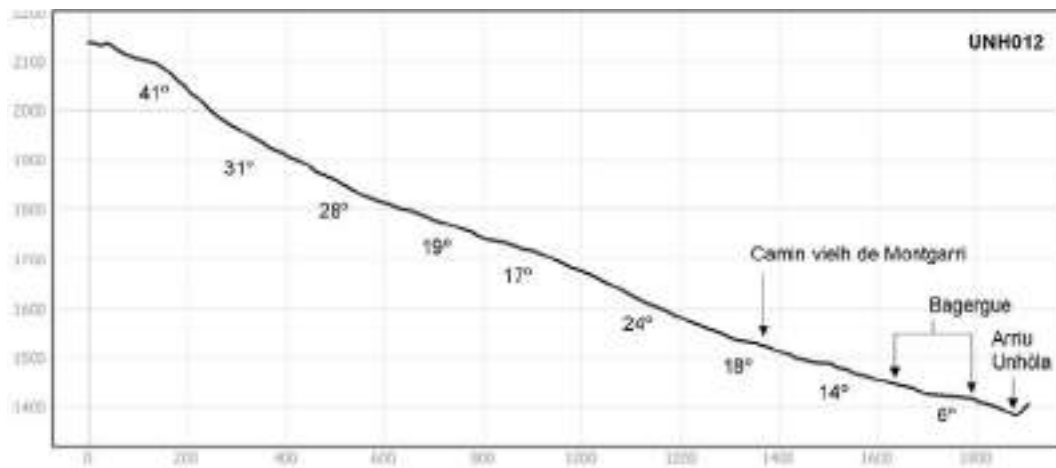


Figura 18. Perfil de la zona d'allaus UNH012.



Figura 19. Zona de sortida de la zona d'allaus UNH012.

3.1 Indicis en la vegetació

L'àmbit d'estudi, en les primeres ortoimatges disponibles (1945) i fins als anys 1970, 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 també perquè hi ha més bosc, que s'hi poden identificar millor els efectes de les allaus.

En l'estudi realitzat per l'ICGC ([Doc. 1]), es va analitzar l'estat de la vegetació per tal de trobar indicis associats a allaus. Es van inventariar els arbres de la zona d'estudi analitzant-ne la morfologia i possibles impactes que poguessin presentar. Les principals afeccions que van detectar són la presència d'arbres inclinats, branques amb traumatismes, ferides i alguns arbres morts.

Segons aquest estudi, el bosc i arbres dispersos dels vessants de Bagergue tenien majoritàriament uns 40 anys d'edat (segons dades dendrocronològiques), ja que fins als anys 70 del S.XX la zona va estar molt explotada forestalment. Els arbres dominants des de les cotes més altes fins a cota 1.575 m són el pi roig (*Pinus sylvestris*), el pi negre (*Pinus uncinata*) i algun avet (*Abies alba*). Les cotes baixes estan dominades per arbres de fulla caduca com roures (*Quercus*), freixes (*Fraxinus excelsior*) i bedolls (*Betula*) i arbusts com avalleners (*Corylus avellana*).

No s'observen afeccions importants a la massa forestal ja que la presència de bosc és quasi nul·la fins a finals dels anys 70, quan es va aplicar un programa de reforestació. Tot i així, la densificació del bosc només queda palesa en els últims 20 anys. En canvi, a les zones baixes del vessant l'abandonament de l'explotació agrícola en els últims anys ha fet augmentar la massa forestal a les zones d'arribada.

En aquest treball ([Doc. 1]), es van observar zones amb arbres afectats fruit d'allaus de la temporada 2008-2009. A la Figura 20 hi ha una mostra de pins arrencats i transportats en aquests vessants. Durant la campanya de camp realitzada a Bagergue es van identificar àrees afectades per allaus de la temporada 2008-2009: zones amb el bosc devastat,

arbres trencats i també d'arrencats i desplaçats que conserven fulles seques (pins roig i negre).

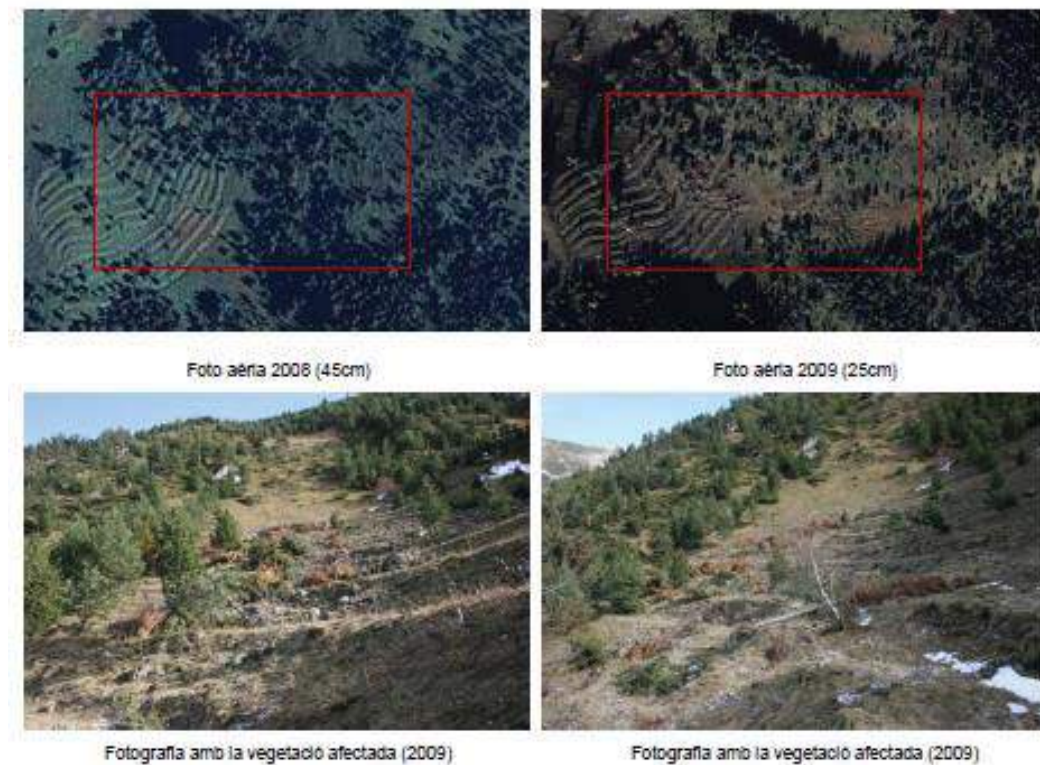


Figura 20. Allau de la temporada 2008-2009 al vessant de cap deth Solan de Bagergue, a la zona d'allaus UNH005; informe ICGC 2010 [Doc. 1]).

La Figura 21 mostra tots els indicis de danys sobre el bosc atribuïts a allaus. Hi ha informació provinent de l'informe realitzat per l'IGC (2010, [Doc. 1]) i informació provinent del present estudi. En aquesta s'observa com, com és natural, s'identifiquen més indicis a l'obaga de la serra de Comalada (zona d'allaus UNH005, UNH007 i UNH008) donat que hi ha més bosc. Tanmateix, puntualment també s'observa indicis d'allaus del sector de la serra de Bagergue (UNH009 i UNH012), tot i que no es pot confirmar si es tracta d'indis causats per allaus que surten de la zona de sortida superior, o bé per allaus que s'han desencadenat a les zones de sortida inferiors.

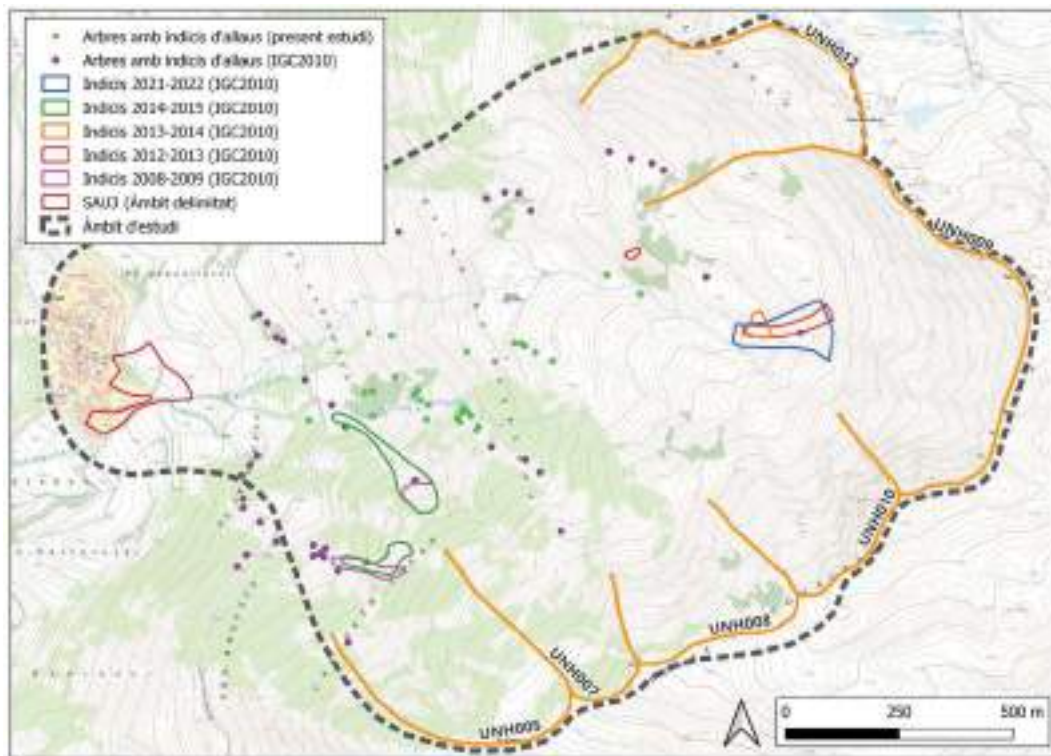


Figura 21. Àrees on s'observen indicis clars d'afectació de la vegetació per allaus identificades a partir de fotointerpretació en l'àmbit d'estudi.

Per tant, els indicis mostren com, al menys des dels anys 1990, no s'han produït grans allaus a la zona, però sí petites/mitjanes allaus, amb certa freqüència, especialment a l'obaga de Comalada (zones d'allaus UNH005, UNH007, UNH009).

4 Inventari d'allaus, informació històrica i testimonial

La Figura 22 mostra les allaus observades recentment a l'àmbit d'estudi. La informació prové de la BDAC, informes anteriors i de la informació obtinguda en el present treball.

A la Base de Dades d'Allaus de Catalunya (BDAC), de l'ICGC, hi consten poques observacions d'allaus. És natural, doncs es tracta d'una zona on no s'hi realitza un seguiment sistemàtic, ja que les allaus freqüents no tenen afectació a infraestructures (cal recordar que el registre d'observacions a la BDAC no és sistemàtic). La Taula 1 mostra les 4 observacions registrades a la zona d'estudi, totes corresponents a la zona d'allaus UNH009. Es tracta principalment de plaques que poden ser tant de neu seca com de neu humida, de mides entre 2 i 3, però que no davallen més avall de la cota 1.850 m s.n.m. La Figura 23 mostra una imatge del dipòsit de l'allau UNH010201002, la més gran de les allaus registrades a la BDAC. S'ha afegit un cinquè registre, no existent a la BDAC, amb el codi "Allau abril 2015", corresponent a una zona de sortida inferior de la zona d'allaus UNH007. Aquesta allau, un lliscament basal, arribà fins a la cota 1.460 m s.n.m., a la proximitat de l'àmbit delimitat, però fora de la seva trajectòria.

Taula 1. Principals atributs a les observacions d'allaus registrades a l'àmbit d'estudi. Font: BDAC-ICGC, present estudi.

Codi	Data obs.	Data caiguda	Tipus	Origen	Danys	Cota inf.	Mida
UNH009200401	8/2/05	8/2/05	Allau sense cohesió de sortida lineal, de neu seca	?	Absència de danys	2000	2
UNH009201301	26/1/14		Allau de placa de neu humida. Flux dens	?	Absència de danys		3
UNH010201001	4/3/11	4/3/11	Allau de neu humida. Flux dens	Accidental – pas de persona	?	?	2
UNH010201002	4/3/11	4/3/11	Allau de placa	Accidental			3
Allau abril 2015	2/4/15		Lliscament basal	Natural	Medi natural	1460	3

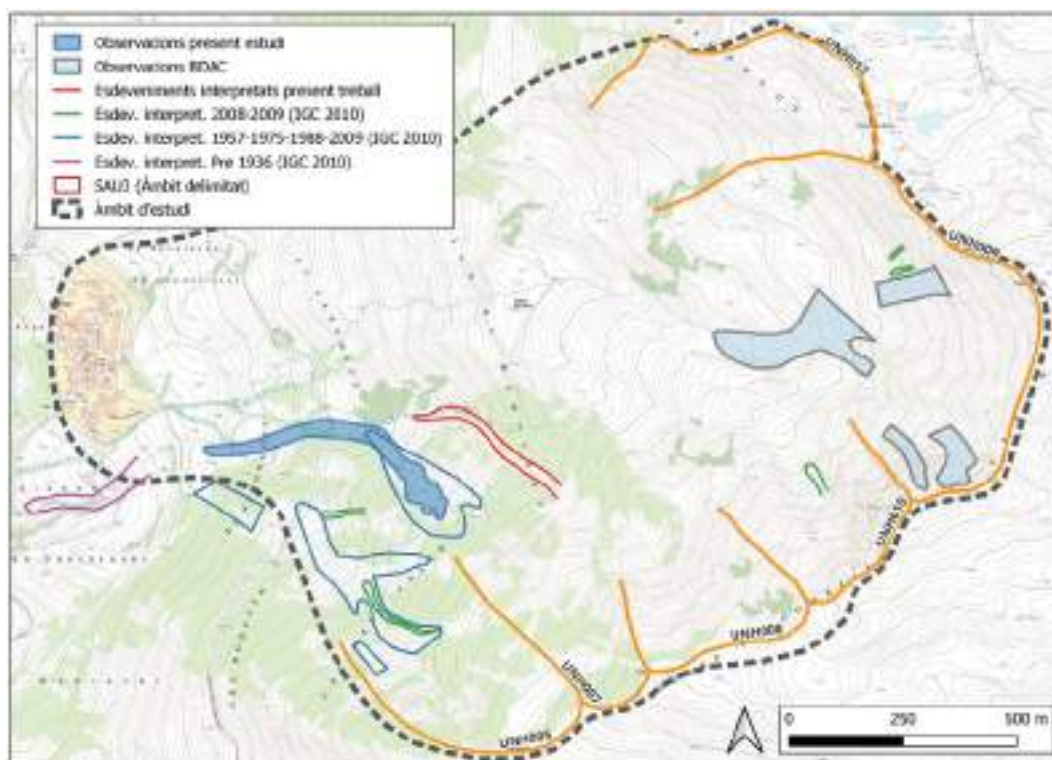


Figura 22. Esdeveniments recents i antics identificats o interpretats dins de l'àmbit d'estudi.



Figura 23. Dipòsit de l'allau UNH009201301 (BDAC-ICGC).



Figura 24. Zona de sortida de l'allau observada l'abril de 2015. Foto cedida per un testimoni.



Figura 25. Dipòsit de l'allau d'abril de 2015, per sota del camí vell de Montgarri. Foto cedida per un testimoni.

4.1 Informació testimonial

En l'informe IGC 2010 ([Doc. 1]), es va realitzar una exhaustiva feina d'enquesta a persones d'edat, de Bagergue, que podessin aportar informació d'allaus del passat, ja sigui per observació directa, o per transmissió de generació en generació.

En concret, en l'informe de l'ICGC 2010 ([Doc. 1]) es va entrevistar a:

- Felip Estrada Mateu (72 anys l'any 2009), de Bagergue
- Alfonso Paba (69 anys l'any 2009), de Bagergue
- Emilio Moga (78 anys l'any 2009), de Salardú

En el present estudi s'ha afegit l'entrevista amb:

- Felipe Moga (92 anys), veí de Bagergue.

Com a resultat de la informació obtinguda en les diferents entrevistes, es conclou que:

- Sector UNH007-UNH008 (obaga de Comalada)
 - o Fa uns 200 anys una allau es va endur fins el riu una borda/quadra que hi havia a l'entrada del poble. Va ser per Setmana Santa. Es trobava dos corbes més avall de la carretera (Figura 26).
 - o Cap a la temporada 1966-67, es va observar la mateixa allau creuar la carretera. L'any 1982 podria haver travessat també la carretera.
 - o L'allau hauria sortir del cap de la muntanya, de la Coma Nera, de la Pedra Longuera. S'han vist sortir d'un indret anomenat "Llos Hero". Alguna ha arribat fins al riu.
 - o Per la ubicació de la borda/quadra, l'allau podria haver sortit de la zona d'allaus UNH005, UNH007 o UNH008. El polígon representat com a

“Esdev. Interpret. Pre 1936 (IGC 2010)” a la Figura 22, correspondria a la interpretació de l'abast d'aquesta allau.

- Sector UNH009
 - o Hi tenen lloc allaus petites.
 - o Es diu que potser fa 300 o 400 anys va arribar un pobí (aerosol) al poble. Hauria sortit de la zona UNH009, de sota del pas de les Guerres.

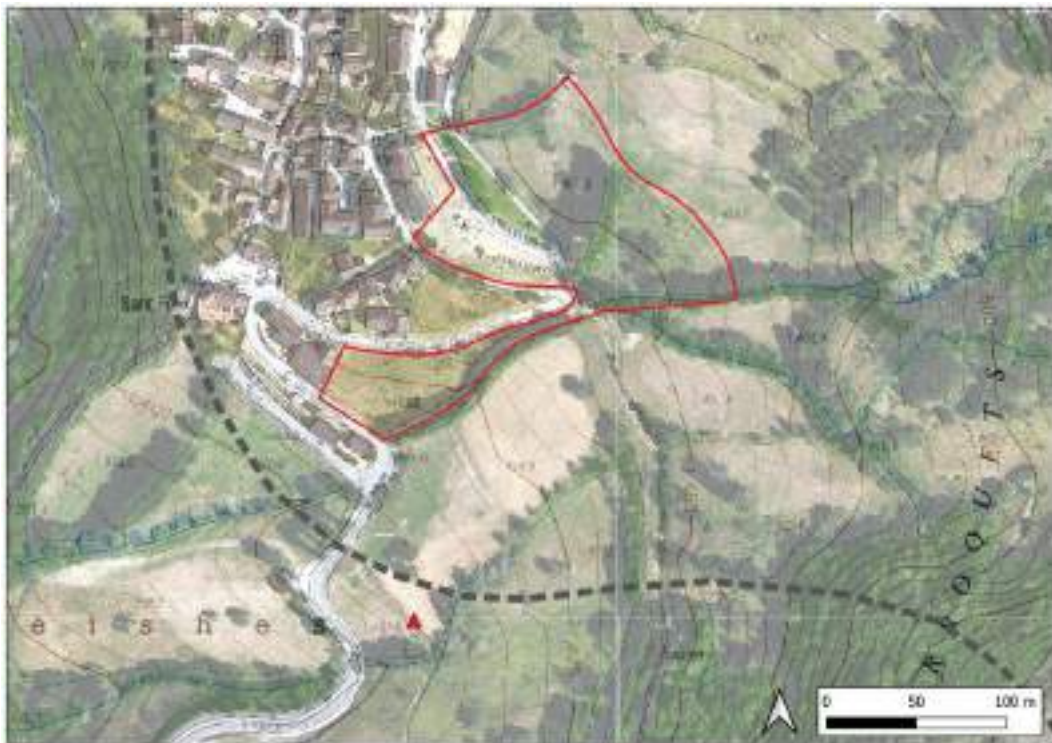


Figura 26. Situació de la quadra (triangle vermell) que va ser destruïda per l'allau descrit pels testimonis.

4.2 Fonts històriques

En l'estudi realitzat per l'ICGC el 2010 ([Doc. 1]), es va cercar en tres fonts: articles científics d'estudi de la zona, al Museu de la Neu d'Unha i un Treball complementari de

recerca històrica realitzat per la Universitat de Barcelona. La informació, pel que fa a Bagergue, recollida se sintetitza a la Taula 2.

En l'article "La reconstrucción de riesgos naturales en la miniglaciación. El alud catastrófico de abril de 1855 en el valle de Toran" (García et al. 2005)³ s'esmenta i es documenta que durant el mes d'abril de 1855 es van produir danys fruit d'allaus a Unha i Bagergue, però no concreta la zona que van afectar. Tanmateix, s'interpreta que a la vall de Toran hi ha la principal afectació, mentre que a Unha i Bagergue l'afectació hauria estat menor.

Per altra banda, al diari el Barcelonés, de 17 d'abril de 1855, s'indica, sense especificar, que l'afectació a Unha i Bagergue podria haver estat major, i es parla de 45 víctimes, però no es concreta on. Podria ser que l'allau que relaten els testimonis que s'hauria endut la quadra a l'entrada del poble (Apartat 4.1) s'hagués produït en aquest episodi de 1855 (coincideix en que s'hauria produït per Setmana Santa de fa 150 anys, i que l'allau hauria efectat a Bagergue).

Taula 2. Informació obtinguda a partir de fonts històriques (Font: [Doc. 1]).

Any	Informació	Font
1855 (abril)	"El 5 de abril un alud se abate sobre el valle de Toran. Se produjeron alrededor de 60 víctimas y la destrucción de unes 58 casas; hubo también daños y víctimas por aludes en otros sectores de Arán, como Unha y Bagergue. (...)".	García, C., Martí, G., Barriendos, M., Gavaldà, J., Rodés, P. La reconstrucción de riesgos naturales en la minglaciación. El alud catastrófico de abril de 1855 en el valle de Toran
	"(...) a consecuencia de la extraordinaria nevada que ha caído en estos últimos días en el Valle de Arán en cantidades de vara y media se han desprendido de aquellas elevadas montañas enormes porciones de nieve y han derribado e inundado los pueblos de Uña y Bagergue, (...) se tiene noticia de la extracción de 45 cadáveres, pero se presume que es mayor el número de las víctimas del llabetg"	El Barcelonés, 17 d'abril de 1855

³ García, C., Martí, G., Barriendos, M., Gavaldà, J., Rodés, P. La reconstrucción de riesgos naturales en la minglaciación. El alud catastrófico de abril de 1855 en el valle de Toran

5 Anàlisi nivoclimàtica

En aquest apartat es realitza una anàlisi del comportament nivoclimàtic de l'àmbit d'estudi a partir de les dades nivometeorològiques que, junt amb la caracterització de la dinàmica d'allaus, permeten definir els escenaris de referència així com les condicions i dades d'entrada a considerar en les simulacions de les allaus.

A la proximitat de l'àmbit d'estudi hi ha quatre estacions nivometeorològiques: Bonaigua, Baqueira (amb estacions a 1.800 m s.n.m. i a 2.500 m s.n.m.), Comalada i Cap del Port (Taula 3, Figura 27). Totes són molt properes a l'àmbit d'estudi i, a excepció de Cap del Port, les sèries són relativament llargues.

Les estacions de Baqueira són les més longeves, ja que hi ha dades des de 1990 i fins aproximadament el 2012. Són estacions manuals gestionades per l'estació d'esquí. No tenen la precisió ni la continuïtat en la freqüència en el registre de dades d'una estació automàtica, i la presa de dades està sotmesa a la interpretació humana (amb els seus avantatges i inconvenients). Segons converses amb el Centre de Lauegi d'Aran (CLA), no complirien amb els estàndards de presa de dades nivometeorològiques. Per tant, s'ha descartat. L'estació de Comalada, del CLA, disposa d'una sèrie de 16 anys de dades. Malgrat considerar-se una estació amb bona representativitat de les condicions de la val d'Aran, les dades, a data d'elaboració del present estudi no estan organitzades per ser tractades ni han estat validades, a part de ser una sèrie relativament curta, i no inclou un dels hiverns més important d'allaus, que és el de 2002/03. L'estació de Bonaigua (Z1) es posa en marxa el 1997 i es disposa de dades fins a l'actualitat. Per tant, disposa de 26 hiverns de dades. Les dades són oficials (SMC), i per aquesta raó són les que s'han usat per al tractament estadístic. Es troba en una zona relativament ventada i, per tant, la dada de gruix de neu pot ser subestimada. L'estació de Cap del Port, també del CGA, és molt ventada i, a més, és la que té la sèrie més curta (10 anys).

Taula 3. Estacions nivometeorològiques existents prop de l'àmbit d'estudi

Estació	Cota s.n.m. (m)	Període de dades	Abast temporal (a)	Tipus d'estació
Bonaigua (SMC)	2.266	1997 – present	26	Automàtica
Baqueira 1800 (BB)	1.800	1990 - 2012	21	Manual
Comalada (CGA)	2.071	2000 – present	16	Automàtica
Cap del Port (CGA)	2.250	2011 - present	10	Automàtica



Figura 27. Situació de les estacions nivometeorològiques existents a la proximitat de la zona d'estudi.

L'anàlisi nivoclimàtica que es descriu a continuació es basa en les dades de l'estació automàtica de Bonaigua. Tal com s'ha comentat, és la que disposa de la sèrie més llarga i és una estació oficial de l'SMC.

5.1 Gruix de neu

El gruix mitjà del mantell a Bonaigua és de 233 cm. Presenta una notable variabilitat, essent el màxim 411 cm la temporada 2012/13, històrica per les riuades de Garona i

tributaris el juny de 2013 a causa de la precipitació i de la fosa accelerada de la neu. El mínim ha estat la passada temporada 2022/23, amb 77 cm.

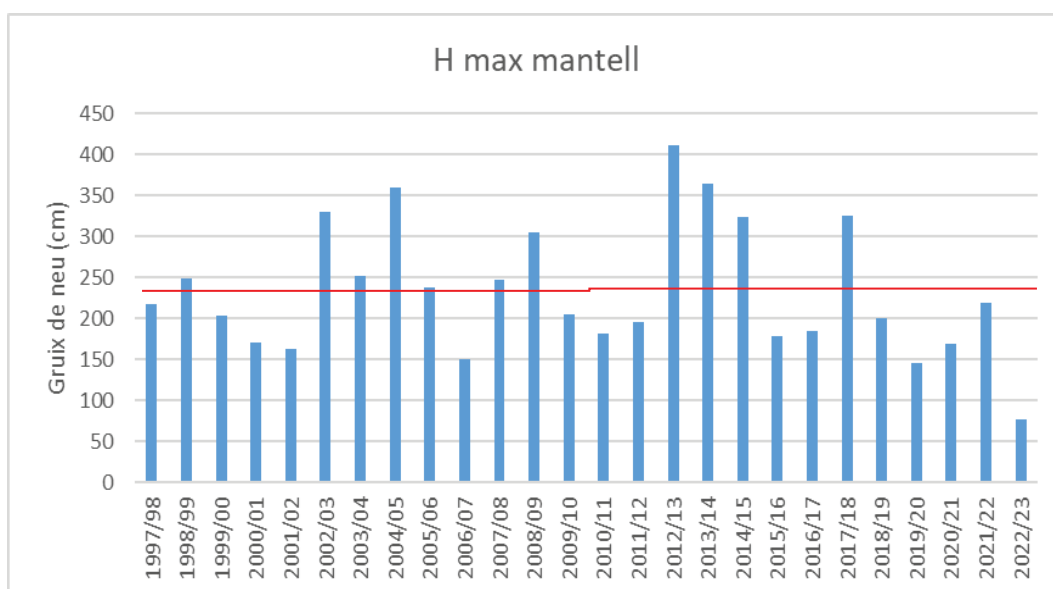


Figura 28. Gruix màxim del mantell per temporada a l'estació automàtica de Bonaigua (2.266 m s.n.m.). La línia vermella indica el valor mitjà.

Pel que fa a l'evolució del gruix de neu al llarg de la temporada (Figura 29), s'observa com la regularitat del clima atlàntic fa que aquest augmenti regularment durant els mesos de novembre a gener. A febrer el gruix s'estabilitza fins a finals d'abril. A partir de maig, el mantell entra en fusió i el gruix inicia un ràpid declivi fins al mes de juny. Els màxims gruixos poden superar els 3 m i es registren entre març i abril.

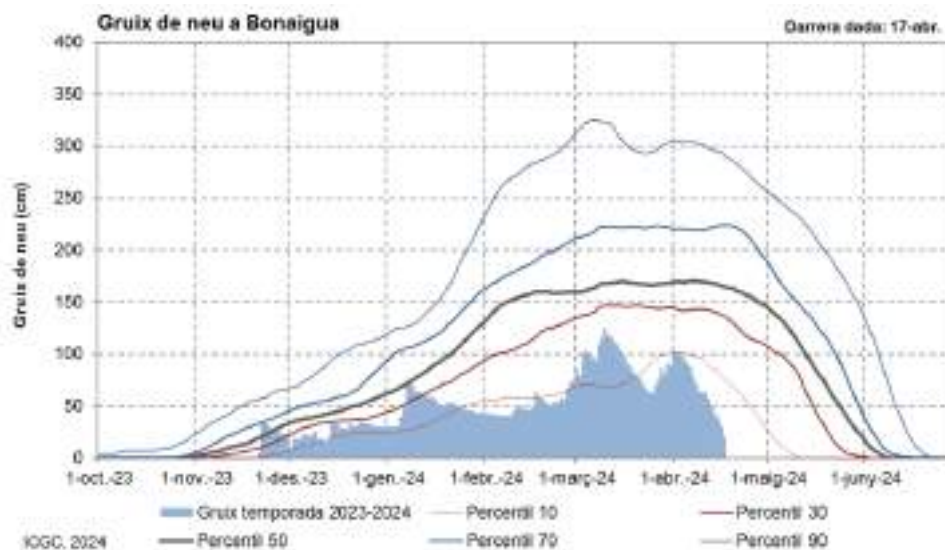


Figura 29. Evolució mitjana del gruix de neu a l'estació automàtica de Bonaigua (2.266 m s.n.m.). Exemple de la temporada actual 2023-24. Gràfic descarregat d'InfoGruixNEU (ICGC).

Pel que fa al gruix de neu recent acumulat per temporada (Figura 30), també hi ha una notable variabilitat. El valor mitjà és de 471 cm, essent el màxim de 765 cm la temporada 2012/13, i el mínim de 207, la passada temporada 2022/23.

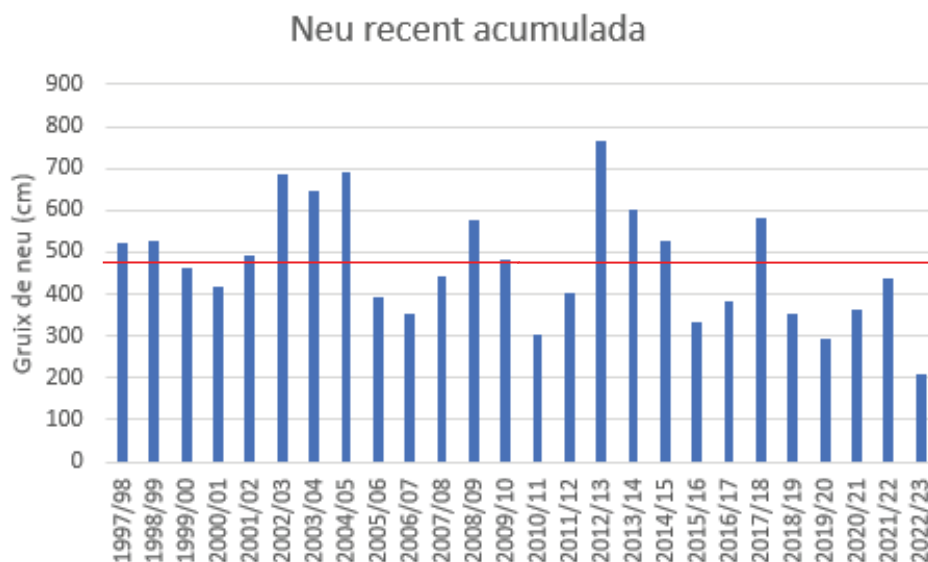


Figura 30. Gruix de neu recent acumulada per temporada a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.). La línia vermella indica la mitjana.

5.2 Vent

El vent és un paràmetre fonamental en relació amb la dinàmica d'allaus, ja que redistribueix la neu, i en les zones on l'acumula, si el terreny és favorable, afavoreix el desencadenament d'allaus i n'incrementa les seves dimensions. Es tracta, però, d'un meteor molt influenciat pel relleu i, sovint, els valors registrats a les estacions meteorològiques no tenen representativitat per a una àmplia zona, sinó que reflecteixen condicions locals. És el cas dels valors d'orientació obtinguts per a l'estació de Bonaigua (Figura 31), de marcat component de SO i O, controlat per la direcció O-E de la coma del Pletiu d'Arnaldo, on està situada l'estació. La divisòria nord del Pletiu protegeix a l'estació dels vents de N i NO, que adopten la direcció registrada a l'estació SO i O. En tot cas, és evident el domini de vent amb component occidental, provinent de l'Atlàntic.

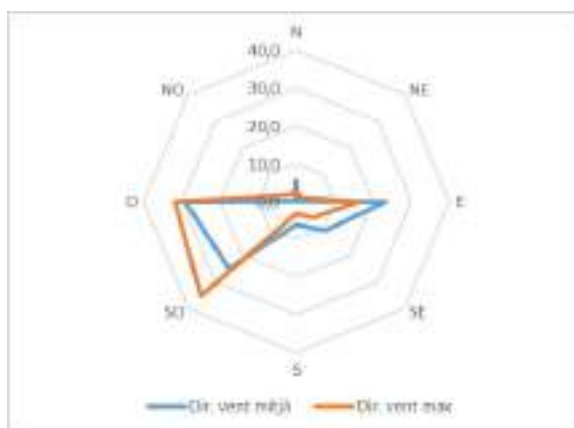


Figura 31. Direcció del vent dominant segons intensitat mitjana i màxima mesurada (en m/s) a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.).

Pel que fa a la intensitat, els valors mitjans es mouen, en general, per sota dels 5 m/s, i els màxims poden arribar fins als 13 m/s de forma excepcional. Els cops màxims arriben amb freqüència fins als 25 m/s, tot i que de forma excepcional, han arribat fins a 40 m/s (Figura 32). Per tant, es tracta de valors alts, però per sota dels valors registrats a altres parts del Pirineu, com per exemple al Pirineu Oriental.

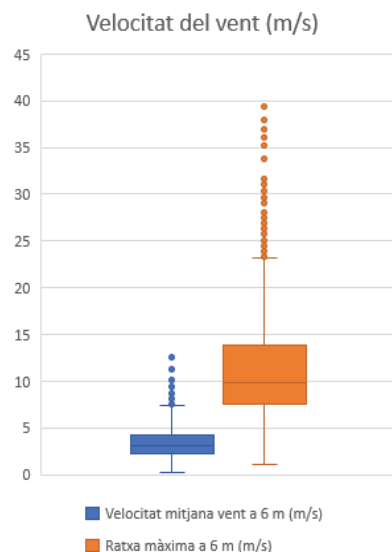


Figura 32. Intensitat del vent mesurada a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.).

5.3 Temperatura

La temperatura de l'aire, junt amb altres variables regula la temperatura del mantell i, per tant, intervé en les condicions i les transformacions que s'hi produeixen.

Durant la temporada hivernal, els mesos de gener i febrer són els més freds de l'hivern amb una mitjana mensual de $-3,2^{\circ}\text{C}$ i $-3,8^{\circ}\text{C}$ respectivament (Figura 33). A partir del mes de març, la temperatura inicia un ascens marcat que serà el responsable de l'inici de la fusió del mantell fins a la seva desaparició al maig-juny.

Durant la temporada, les temperatures extremes màximes no solen superar els 15°C , tot i que tant al principi com al final de temporada la probabilitat de sobrepassar-los és més elevada. Per l'altre costat, es pot baixar dels -20°C , especialment els mesos de gener i de febrer.

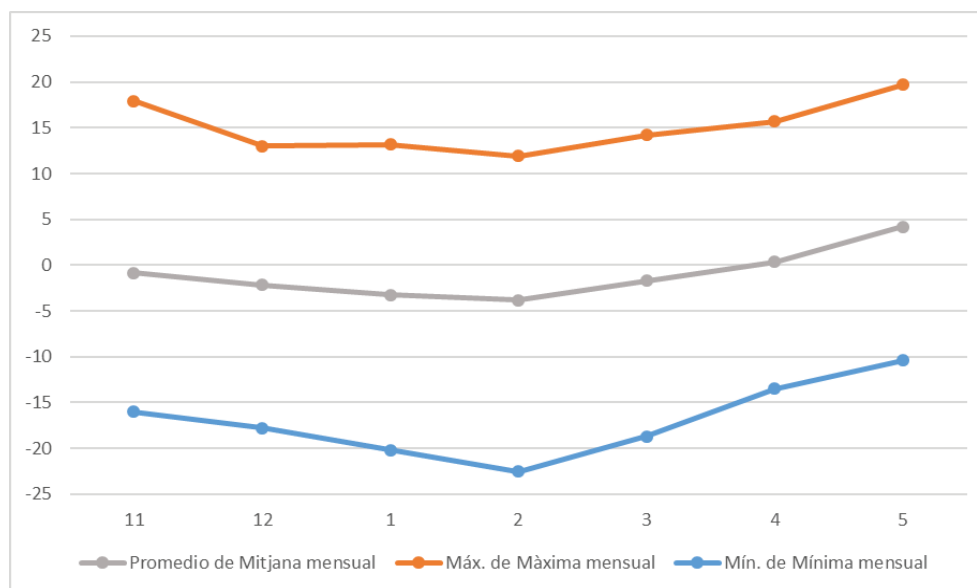


Figura 33. Temperatures mensuals mitjanes i extremes (en °C) a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.). Els números de les abscisses corresponen als mesos.

Pel que fa a l'evolució de la temperatura (Figura 34), s'observa com al llarg de les 26 darreres temporades, hi ha una tendència a l'augment.

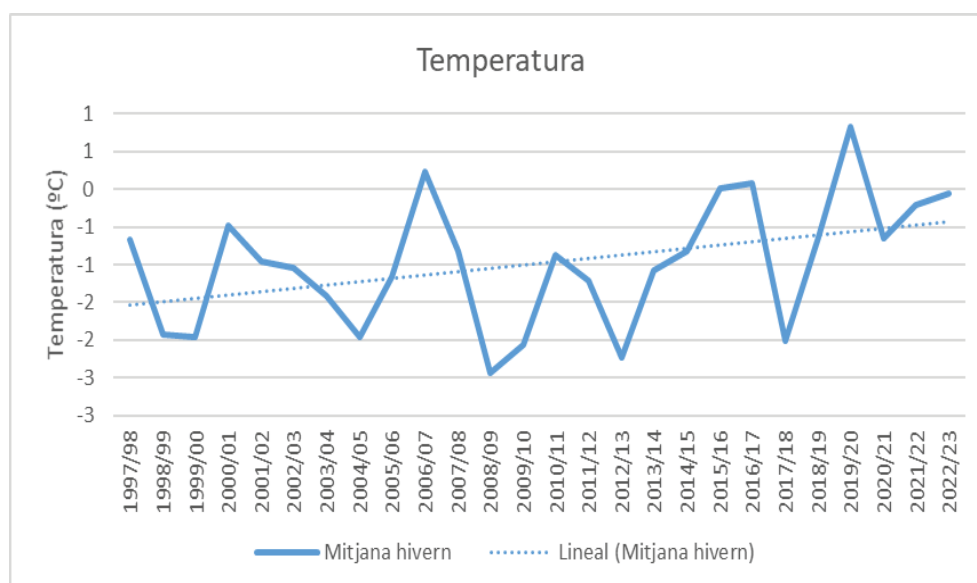


Figura 34. Evolució de la temperatura mitjana hivernal a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.).

6 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 per a cada zona d'allaus 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 molt ben definides. 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.

Oller et al. (2021)⁵ recentment han proposat una equació per als Pirineus a partir d'informació actualitzada de 83 esdeveniments majors:

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

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

La Taula 4 mostra els resultats obtinguts per a les zones d'allaus de l'àmbit d'estudi amb una trajectòria teòrica més propera a l'àmbit delimitat. Els límits corresponents a l'abast d'allaus de T100 o més es mostren a la Figura 38, on es representa l'abast d' α

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 : 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>

(probabilitat de no excedència del 50%) i d' α -SD (probabilitat de no excedència del 84%; SD: desviació estàndard)⁶.

Taula 4. Angles α - β de les zones d'allaus UNH007, UNH008, UNH009 i UNH009b 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 (°)
UNH007	1.735	1.415	320	22,2	785	0,8	21,7	20,0
UNH008	2.129	2.415	714	23,9	1.613	6,1	21,3	19,7
UNH009	2.199	1.780	419	22,0	1.036	8,4	18,6	17,0
UNH009b	1.752	1.400	352	19,8	977	0,48	20,4	18,8

Els resultats mostren com en totes les zones d'allaus simulades, es poden produir allaus de període de retorn superior o igual a 100 anys amb abast fins al SAU3. Tanmateix, per a la zona d'allaus UNH009 (Figura 37), el perfil s'ajusta poc a una paràbola, el qual indica que els resultats són menys fiables. En aquest cas, s'ha aplicat el model també a la zona de sortida inferior UNH009b i confirma la possible arribada de l'allau a l'altura de l'àmbit delimitat (SAU3).

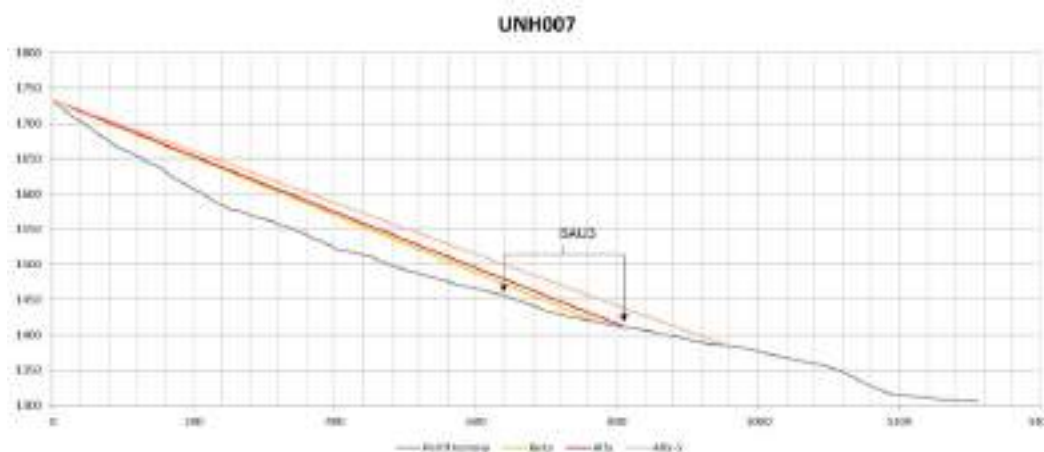


Figura 35. Angles d'abast obtinguts a la zona d'allaus UNH007.

⁶ 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.

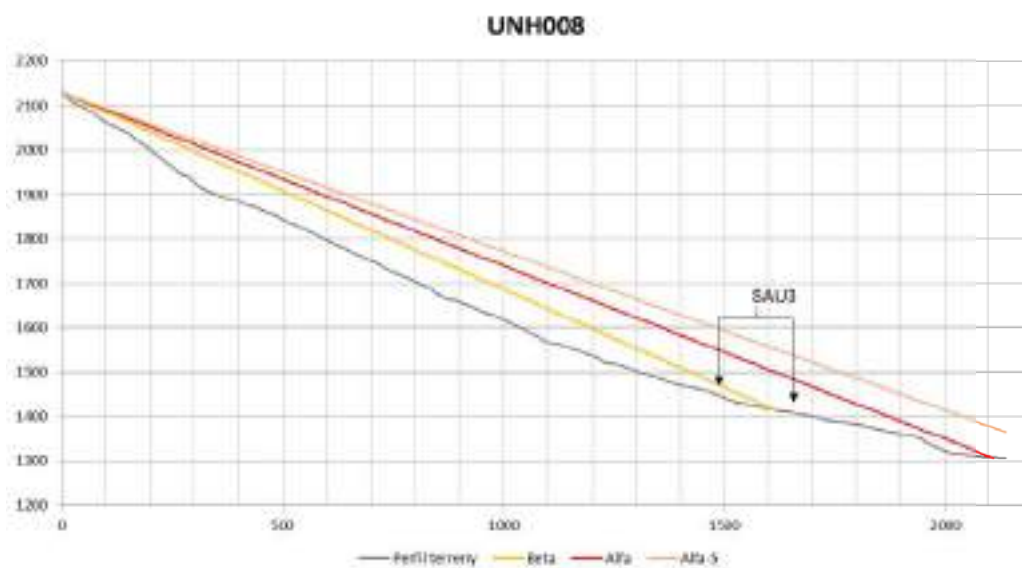


Figura 36. Angles d'abast obtinguts a la zona d'allaus UNH008.

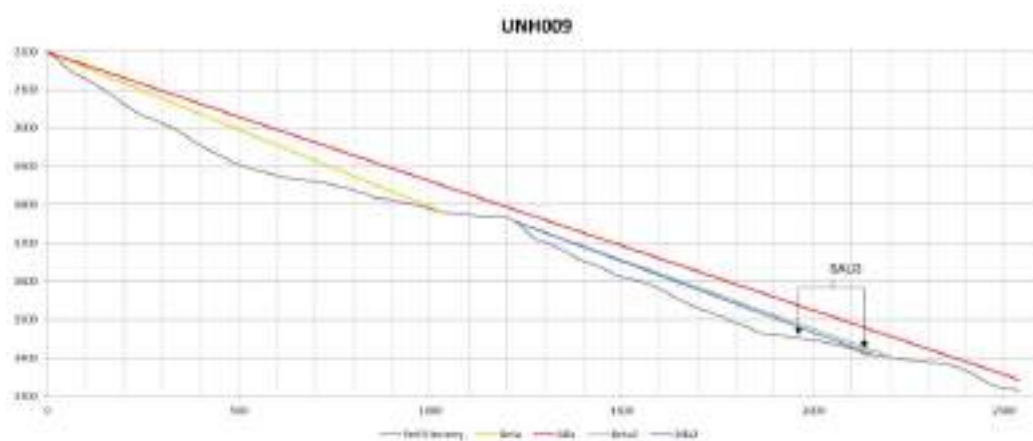


Figura 37. Angles d'abast obtinguts a la zona d'allaus UNH009.

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

La informació recollida en l'anàlisi del terreny, i en l'inventari d'allaus, se sintetitza en la Figura 38. S'observa com on hi ha més informació d'allaus i indicis és al sector de l'obaga de Comalada (zones d'allaus UNH005, UNH007, UNH008). En canvi, al vessant sud-oest de la serra de Bagergue (zones d'allaus UNH009, UNH012), malgrat s'observa indicis fins a cotes relativament baixes, no hi ha constància d'allaus per sota de la cabana dera Serra (cota 1.760 m s.n.m.). Els indicis observats per sota d'aquesta cota podrien ser deguts a petites allaus desencadenades per sota d'aquesta cota.

Tota aquesta informació permet estimar una freqüència/període de retorn per a les diferents zones d'allaus. Aquesta informació també és fonamental per contrastar els resultats obtinguts a les modelitzacions dinàmiques (punt 4).

7.1 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 38):

- **Molt alta:** el període de retorn d'arribada d'allaus és inferior a 10 anys. Correspon als pendents més elevats dels vessants, on s'ha observat indicis o allaus freqüents. Les allaus són petites a mitjanes, i acostumen a aturar-se al mateix pendent.
- **Alta:** el període de retorn d'arribada d'allaus és de l'ordre dels 30 anys. Correspon a les zones d'arribada d'allaus, o d'indis d'allaus, de fins a mida 3 aproximadament. La que s'aproxima més a l'àmbit delimitat és la UNH007. La UNH008 s'aturaria a la cota 1.660 m s.n.m. aproximadament, mentre que la UNH005 probablement quedaria a una altura semblant a la UNH007. La UNH009 queda molt allunyada.

- **Baixa:** amb un període de retorn de l'ordre dels 100 anys. Donat que no hi ha informació precisa d'allaus centenàries, s'ha assignat aquest llindar al punt a obtingut a partir de modelització estadística. A les allaus del sector de l'obaga de Comalada, aquest punt quedaria per sota de la cota del SAU3, coincidint amb l'abast de l'allau que destruí la borda/quadra fa 150-200 anys. Aquest abast podria provenir de la zona d'allaus UNH005, UNH007, o UNH008. A la zona d'allaus UNH009 s'han situat dos possibles abasts: un fins la Cabana dera Serra, al replà situat a 1.760 m i, en cas de superar-se aquest llindar, l'allau podria tenir un abast similar al de les allaus de l'obaga de Comalada. En cas que es doni aquest escenari, seria clarament per un període de retorn superior als 100 anys.

La Figura 38 mostra com, a partir de la informació disponible, es pot establir una estimació de la freqüència per a les diferents zones d'allaus de l'àmbit d'estudi.

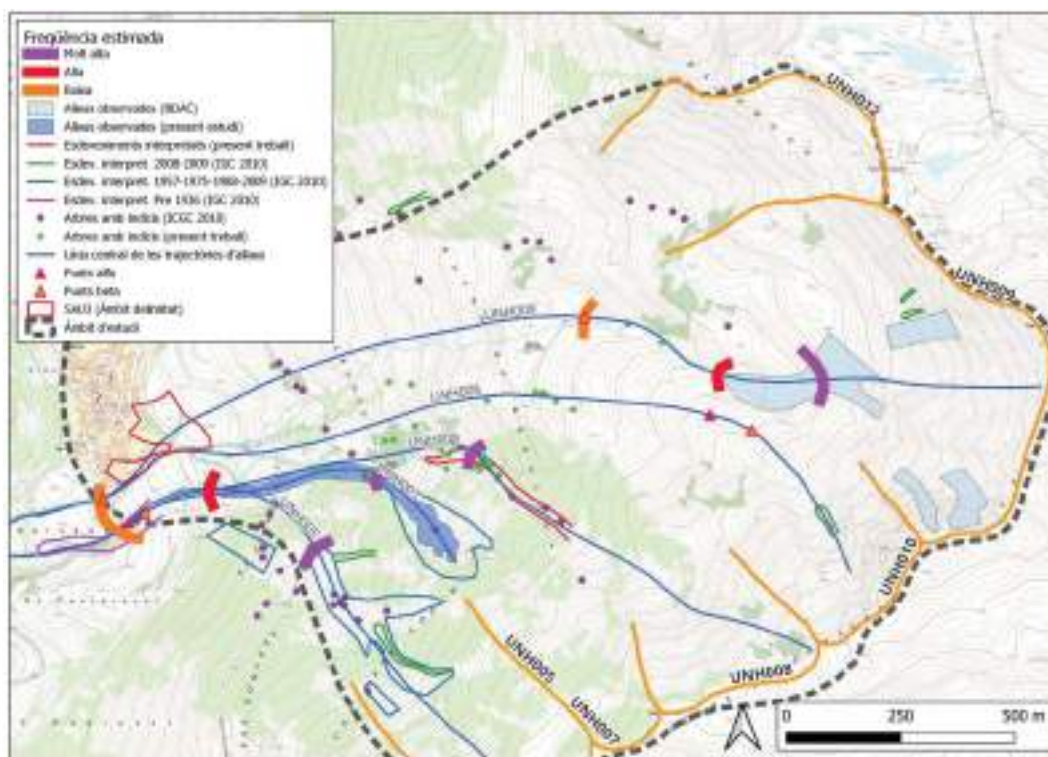


Figura 38. Freqüència estimada d'arribada de les allaus de la zona d'estudi a partir de la informació observacional i de l'aplicació de l'angle d'abast (model α - β).

8 Definició de les allaus majors de referència

Les allaus majors de referència s'han definit a partir de la matriu de perillositat proposada en l'estudi de l'IGC de 2010 ([Doc. 1]; Figura 3).

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.

9 Modelització dinàmica

9.1 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). Aquest és 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., 2008⁷). 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

⁷ Christen, M., Bartelt, P., Kowalski, J., Stoffel, L., 2008: Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation programm 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 del 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)⁸, no comercial, que es cedeix a especialistes amb l'objectiu d'obtenir *feed-back* en la seva utilització.

En el model estès, el nucli d'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 (*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 formació de núvols de pols.

⁸ 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.

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)⁹. 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*.

9.2 Escenaris de simulació

Tal com s'ha indicat al punt 8, les allaus de referència serien les de T100 i T300. Tanmateix, i de cara a obtenir les variables necessàries per avaluar la perillositat a l'àmbit delimitat (SAU3), s'ha simulat directament les de T300. S'ha simulat les allaus segons les condicions que s'espera en un esdeveniment d'aquestes característiques:

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

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

- Model digital del terreny
- Volum de neu mobilitzable
- Coeficients de fricció
- Cohesió
- Densitat
- Bosc

⁹ 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.

- Gradient de temperatura
- Gradient de gruix
- Incorporació de neu

9.2.1 Model digital del terreny

S'ha usat el model digital del terreny de l'ICGC amb malla de 5x5 m (Figura 39). 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.

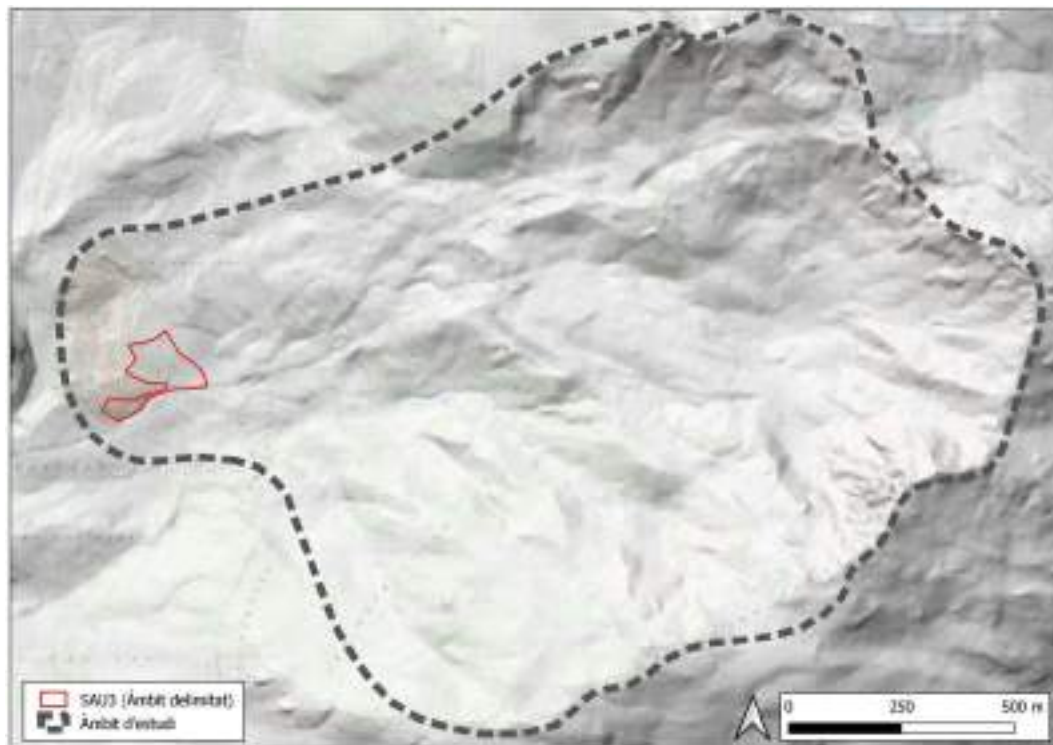


Figura 39. Model digital del terreny 5x5 de l'ICGC processat en mapa d'ombres.

9.2.2 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.

9.2.2.1 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 dels límits de les allaus conegudes. Tanmateix, s'han considerat també les zones d'allaus definides a la BDAC, i a les zones de sortida definides a l'informe IGC 2010. Es tractaria de les zones de sortida màximes per un període de retorn de 300 anys.

La Figura 40 mostra les zones de sortida definides per a T300.

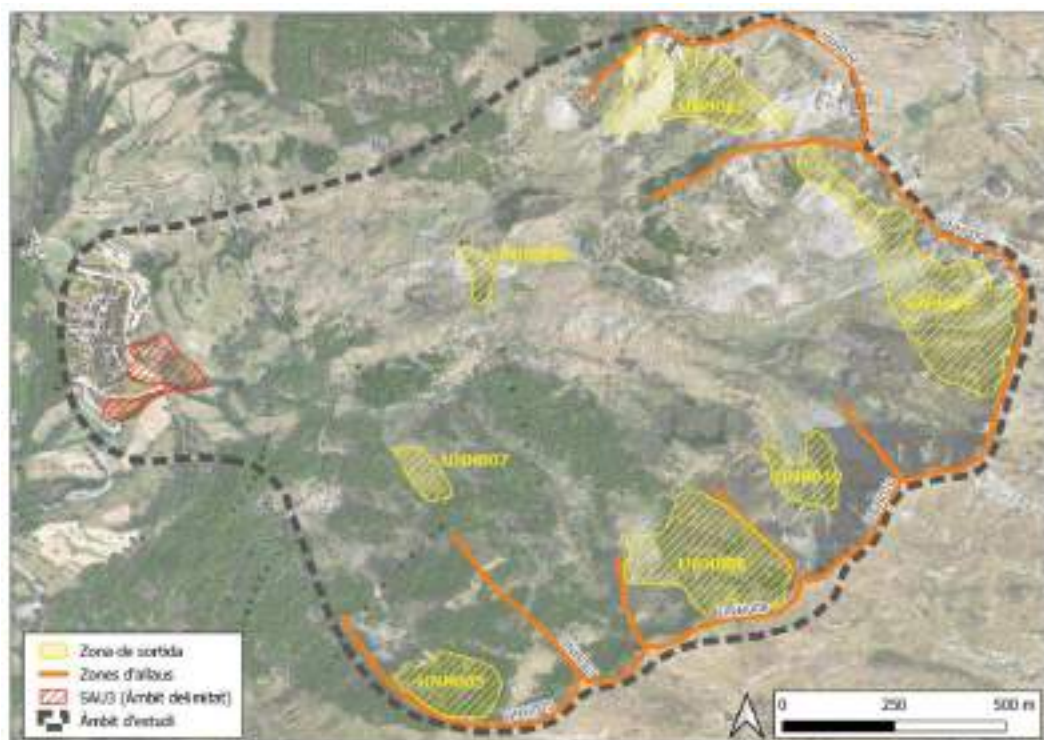


Figura 40. Zones de sortida definides per a T300.

9.2.2.2 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-SLF¹⁰ 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 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 $d_0^* = ((\Delta H_n \cdot \alpha) + C_a) \cdot \cos 28^\circ$.

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 m s.n.m.) del Meteocat, com a estació de referència per la seva proximitat i representativitat amb la zona d'estudi. La sèrie compta amb 26 temporades hivernals. No

¹⁰ Salm, B., A. Burkard, and H. Gubler, *Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. 1990, Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (Davos)

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 41) mostra els valors màxims de neu recent registrats per temporada en 72 h (DH3dd).

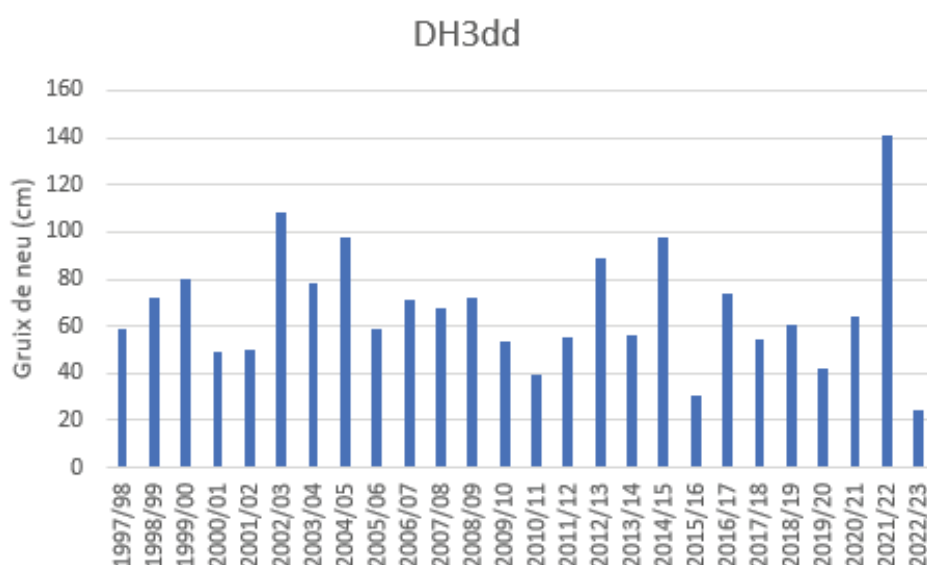


Figura 41. Gruix màxim anual de neu recent acumulat en 3 dies (DH3dd) a l'estació de Bonaigua (2.266 m s.n.m.).

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 5).

$$x = u - \frac{\ln(-\ln F(X))}{d}$$

(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 5. 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

9.2.3 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, 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 $<5.000 \text{ m}^3$), *Small* (volum $5.000 \text{ m}^3 - 15.000 \text{ m}^3$), *Medium* (volum $15.000 \text{ m}^3 - 60.000 \text{ m}^3$) i *Large* (volum $>60.000 \text{ m}^3$).

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

9.2.4 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.

9.2.5 Densitat

El WSL-SLF recomana aplicar, per defecte, una densitat de 200 kg/m^3 , densitat d'una neu recent amb cert grau de cohesió, corresponent a una placa tova, i fins a 450 kg/m^3 , corresponent al dipòsit de l'allau un cop la neu s'ha desplaçat i aturat.

9.2.6 Bosc

El RAMMS "Extended" té 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.

9.2.7 Gradient de temperatura

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 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.

9.2.8 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. El rang de valors per a la variació de gruix és de 0,03 a 0,05 m cada 100 m de desnivell.

9.2.9 Incorporació de neu

La incorporació de neu a l'allau 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.

9.3 Simulacions

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 9.2, 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).

A continuació es mostren els resultats de les simulacions. S'han 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.

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 3 es mostren els resultats obtinguts cartogràficament per cada zona de sortida i escenari.

9.3.1 Escenari major de referencia de T300 per a UNH005

Aquesta zona de sortida (Figura 40) s'ha delimitat en una zona molt forestada i, malgrat hi és possible el desencadenament d'allaus, és poc probable l'activació de tota la zona de sortida definida. Tanmateix, en una situació excepcional, cal preveure un escenari extrem, com el que s'ha simulat. El resultat de la simulació mostra com l'allau al arribar a l'altura de l'àmbit delimitat té tendència a dirigir-se cap a l'oest, seguint el barranc de Paliàs. Tanmateix, per la inèrcia que té l'allau, la part densa arriba fins el límit de l'àmbit delimitat, mentre que l'aerosol l'afecta pràcticament en la seva totalitat.

Taula 6. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH005 per a T300 (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)	Mida
UNH005	37,3	1880	300	30769	Alta (50)	1,18	36.308	Mitjana (M)

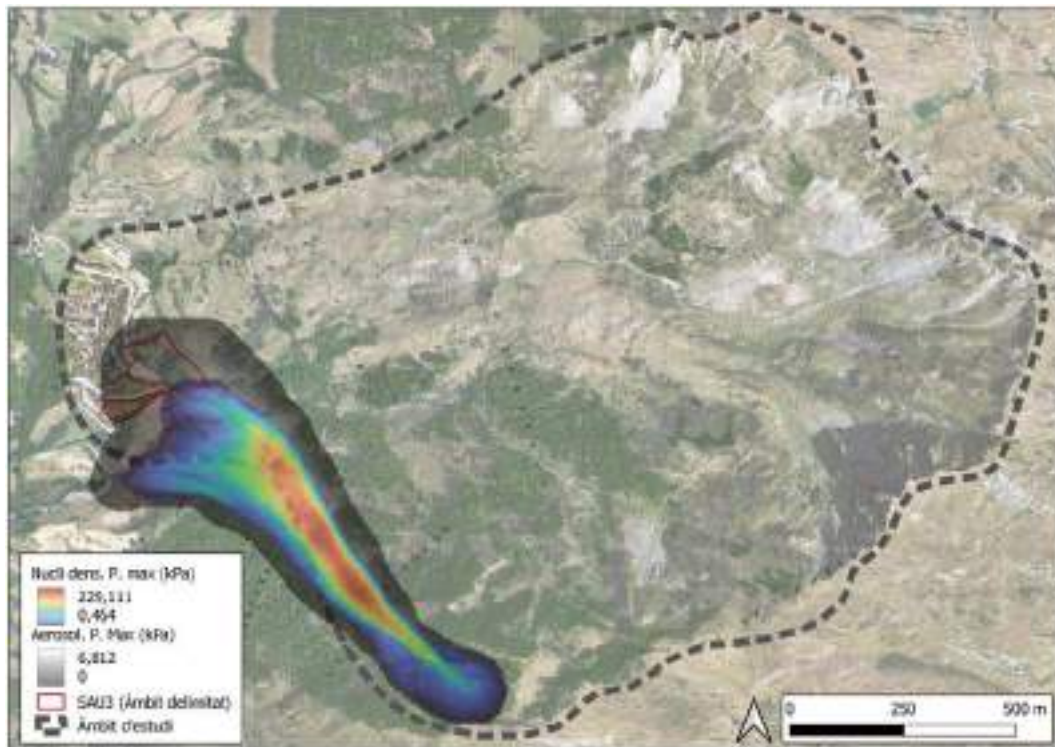


Figura 42. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per la zona d'allaus UNH005.

9.3.2 Escenari major de referencia de T300 per a UNH007

En aquest escenari, se simula una allau sortint d'una zona de sortida situada a una cota inferior, tal com ocorregué l'abril de 2015 (apartat 4), però amb condicions de T300. Com a escenari de T300, no s'ha considerat una zona de sortida superior, ja que no s'hi ha identificat una zona de dimensions majors, donat que la morfologia del vessant és irregular i esgraonada. El resultat mostra com la part densa de l'allau es bifurca a la cota 1.500 m s.n.m. en dos braços. El braç nord, tindria tendència a desbordar cap el nord, i afectaria al marge sud de l'àmbit delimitat. En canvi, l'aerosol no es desenvoluparia prou i no tindria suficient entitat com per arribar fins a l'àmbit delimitat.

Taula 7. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH007 per a T300 (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)	Mida
UNH007	35,5	1700	300	10.471	Mitjana (30)	0,92	9.634	Petita (S)

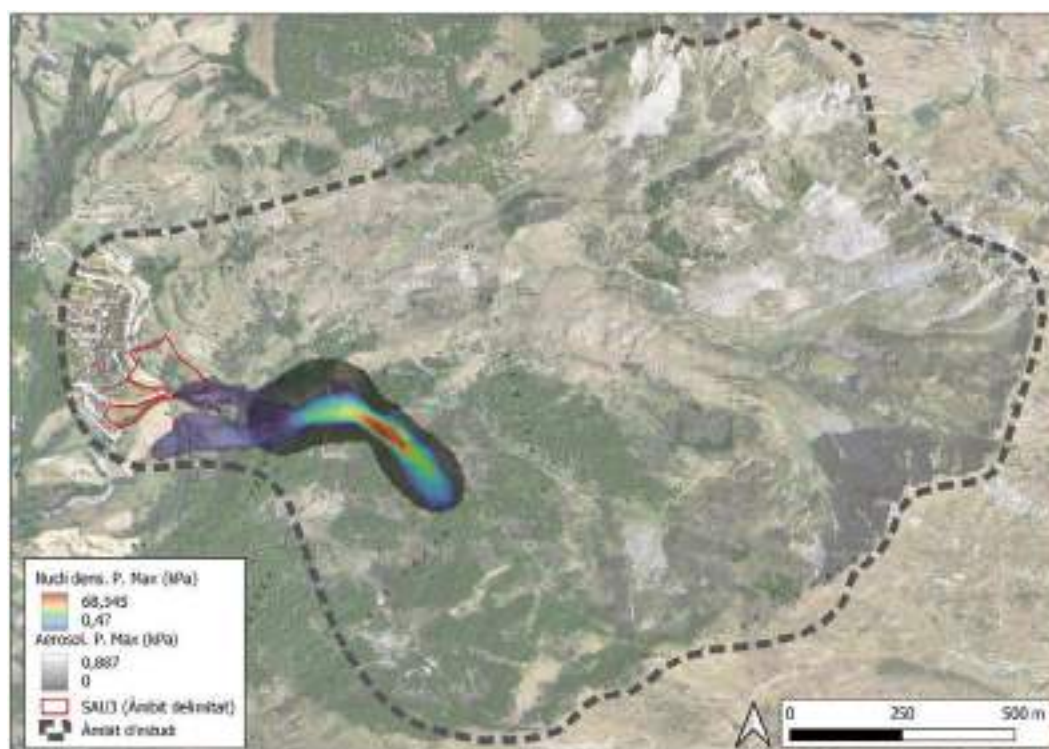


Figura 43. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per la zona d'allaus UNH007.

9.3.3 Escenari major de referència de T300 per a UNH008

En aquest cas, l'allau surt d'una zona de sortida superior, i coincideix a la zona de trajecte amb la UNH007. Es tracta de la zona de sortida més gran de les zones d'allaus de l'obaga de Comalada. El volum és molt major al cas anterior i, en aquest cas, té prou inèrcia per afectar al límit sud de l'àmbit delimitat, amb pressions màximes que fregarien els 30 kPa a l'extrem est, per disminuir ràpidament cap a l'extrem oest. Les altures del

flux serien de fins a 4 m a l'extrem est, per disminuir ràpidament cap a l'oest. L'aerosol afectaria la totalitat de l'àmbit delimitat, amb pressions inferiors.

Taula 8. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH008 per a T300 (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)	Mida
UNH008	34,7	2.009	300	76.548	Moderada (30)	1,21	92.623	Gran (L)

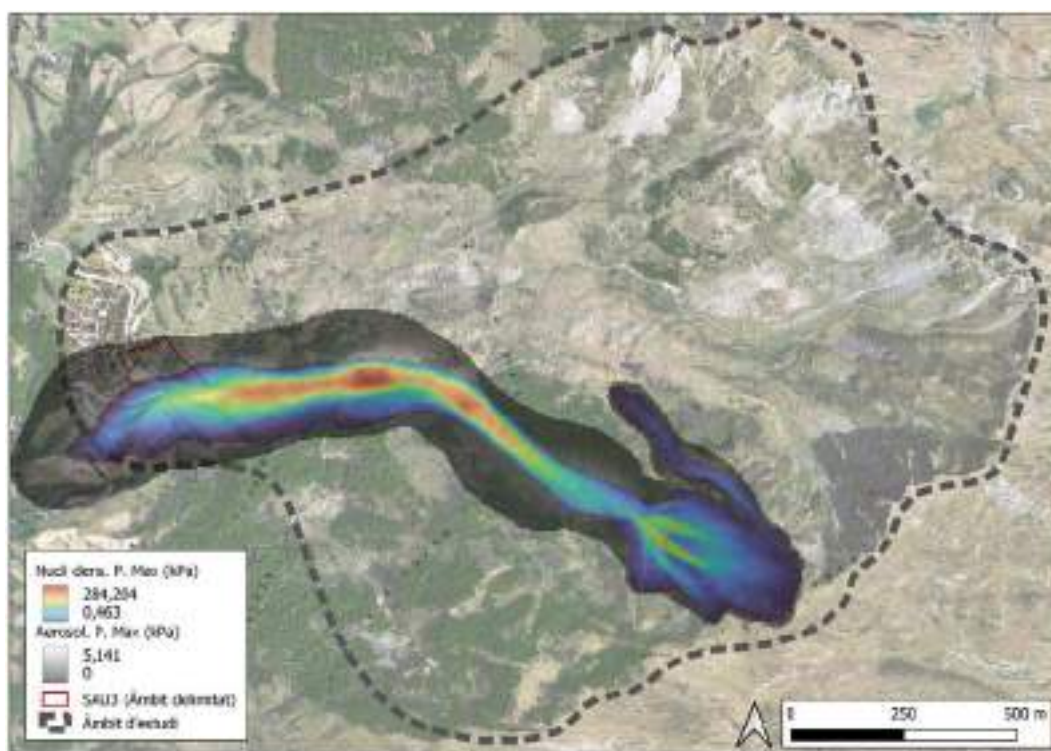


Figura 44. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per la zona d'allaus UNH008.

9.3.4 Escenari major de referència de T300 per a UNH009

En aquest cas, s'ha considerat la màxima zona de sortida possible. Aquí, les modelitzacions han donat diferents resultats. En el cas més optimista, l'allau s'atura al replà de la cabana de la Serra (cota 1.770 m s.n.m.). Tanmateix, si l'allau és prou gran i lleugera, aquesta podria superar aquest llindar, dividint-se en 3 braços principalment, un

dels quals podria arribar a l'àmbit delimitat (SAU3), amb pressions màximes de fins a 30 kPa i alçades de flux màximes de 4 m. Pel que fa a l'aerosol, es dissiparia al replà de la cabana dera Serra.

Taula 9. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH009 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)	Mida
UNH009	37,6	2.097	300	109.649	Alta (50)	1,23	134.869	Gran (L)

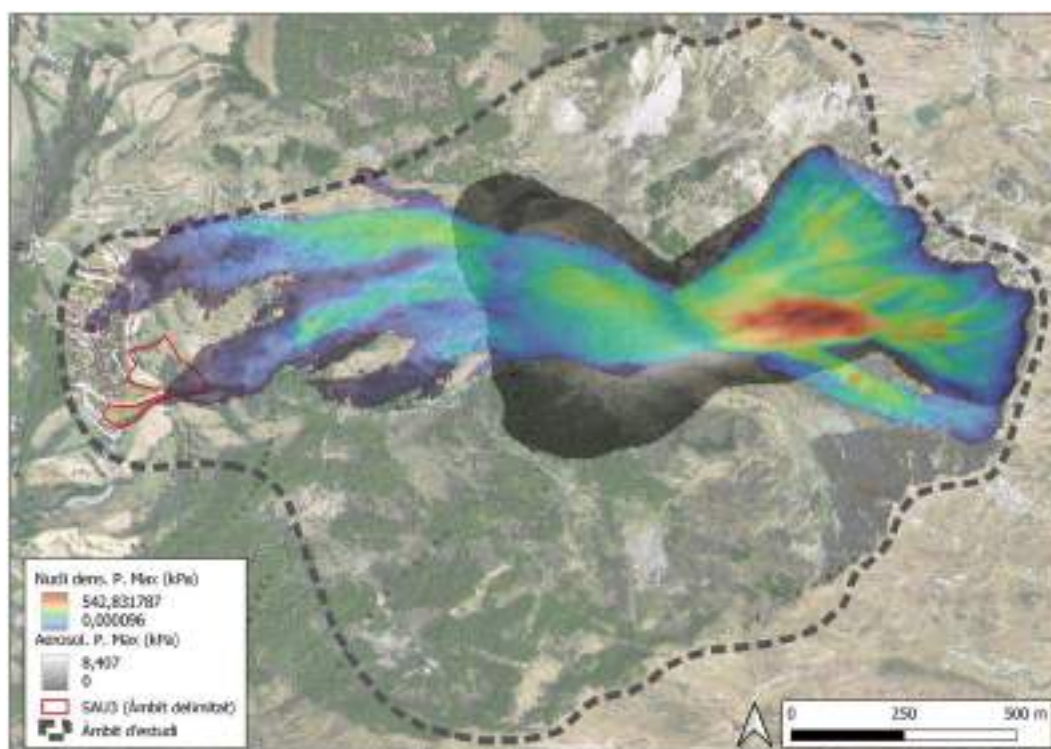


Figura 45. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per la zona d'allaus UNH009.

9.3.5 Escenari major de referència de T300 per a UNH009b

Aquí s'ha simulat una allau sortint del versant subjacent a la cabana dera Serra, a una altura de 1.700 m s.n.m. Es tracta d'una petita zona de sortida, de fort pendent que es

podria activar de forma individual. El resultat mostra com l'allau no tindria major abast que en l'escenari per a UNH009 (cas anterior).

Taula 10. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH009b per a T300 (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)	Mida
UNH009b	41,0	1.734	300	7.948	Alta (50)	0,60	4.769	Molt petita (T)

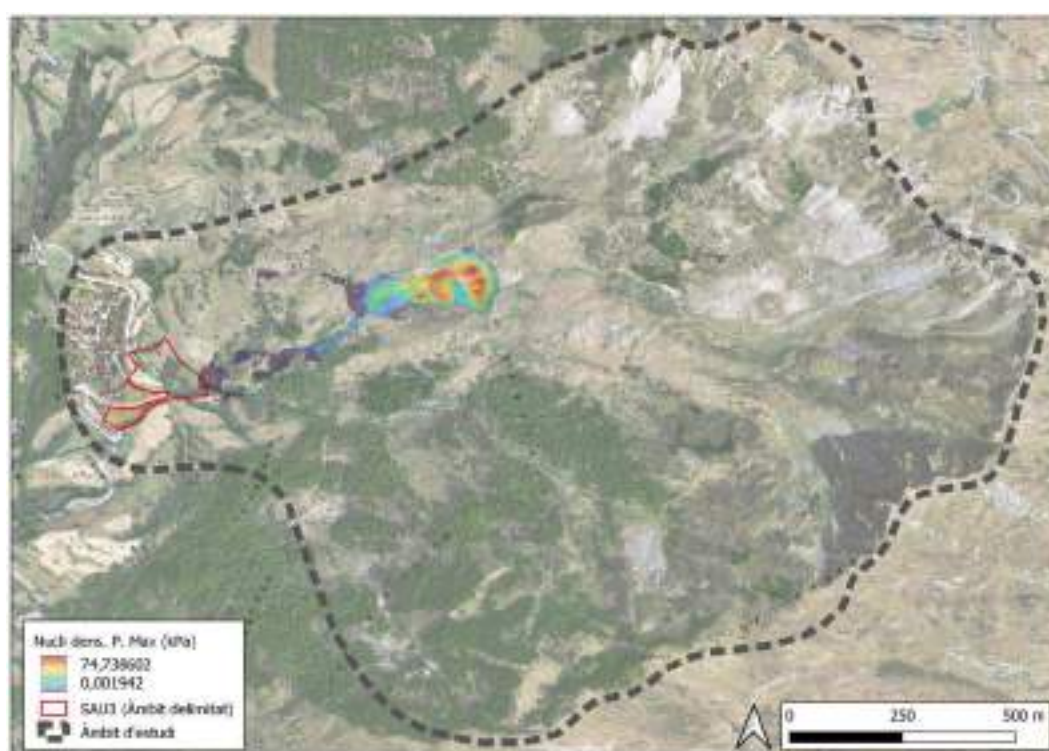


Figura 46. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per la zona d'allaus UNH009b.

9.3.6 Escenari major de referència de T300 per a UNH012

En aquest cas, també s'ha considerat la màxima zona de sortida possible per a un escenari de T300. L'allau resultant arribaria a la proximitat del poble, però no afectaria a l'àmbit delimitat. Tampoc l'aerosol, que no arriba més enllà del nucli dens de l'allau.

Taula 11. Paràmetres aplicats en la simulació de l'allau UNH012 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)	Mida
UNH012	38,5	1.992	300	55.345	Alta (50)	1,04	57.559	Gran (L)

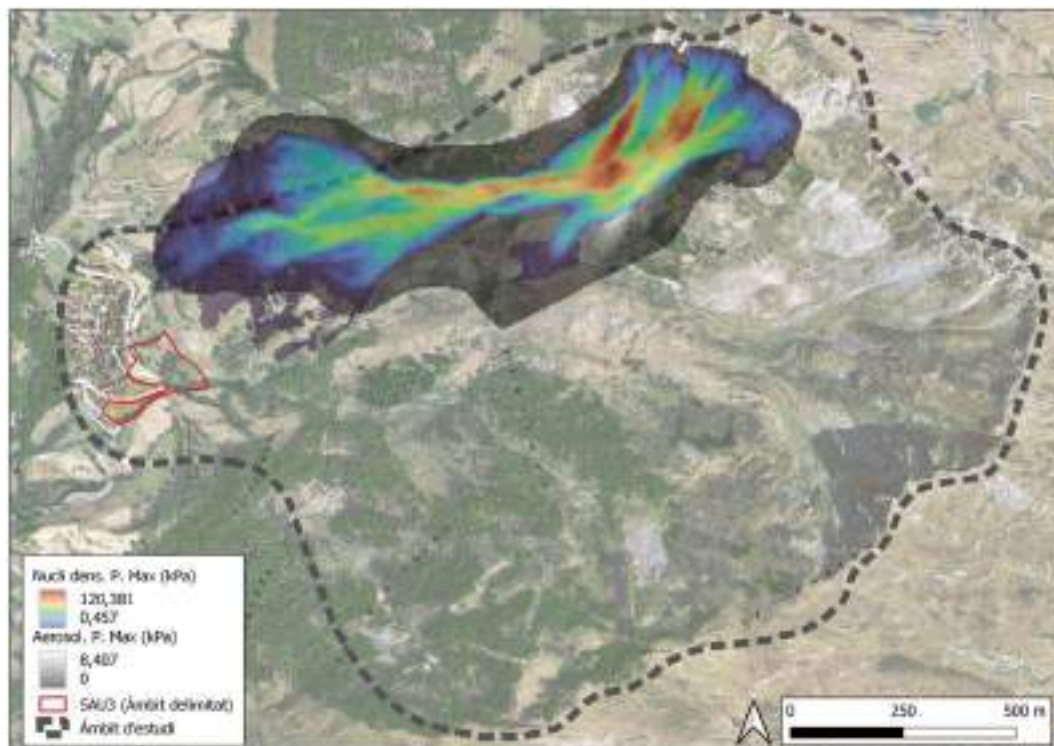


Figura 47. Pressió dinàmica màxima obtinguda per a un escenari de T300 per la zona d'allaus UNH0012.

10 Proposta de protecció

En base als resultats obtinguts, es proposa una estratègia passiva de protecció, consistent en el reforç dels edificis previstos a l'àmbit delimitat (SAU3).

Els valors màxims obtinguts en les diferents simulacions es mostren a la Figura 48. Aquesta figura mostra les pressions i alçades de flux màxims per a T300 a l'àmbit delimitat del nucli dens de l'allau. A l'alçada de flux cal sumar-hi el gruix del mantell nival esperable a l'altura de l'àmbit delimitat (SAU3). Segons el procediment establert pel WSL-SLF per estimar el gruix de neu total a partir d'una estació de referència¹¹ (Taula 2; 554 cm de gruix de neu total per a T300 a l'estació de Bonaigua), en què s'aplica un gradient de 15 a 30 cm de variació del gruix total per cada 100 m de desnivell, a l'altura del SAU3 li correspondria un gruix de 309 cm. Aquest gruix seria coherent amb els gruixos observats pels habitants del poble, que recorden fins a altures de 2 m de gruix del mantell al poble. Finalment, per sobre de les altures obtingudes per al nucli dens, cal sumar-hi l'efecte de l'aerosol.

Taula 12. Estimació del gruix de neu total a l'altura del SAU3 per a T300.

HS (cm)	554
Cota est. ref. (m snm)	2266
Cota zona interès (m snm)	1450
Gradient gruix (15 a 30 cm)	30
Orientació/pendent	O <15°
Resultat gradient (cm)	309
Correc. Orient./pendent (cm)	309

¹¹ WSL SLF (2016). Prise en compte du danger d'avalanche et de la pression de la neige pour les installations à câbles. Guide Pratique. Pp 30-31.

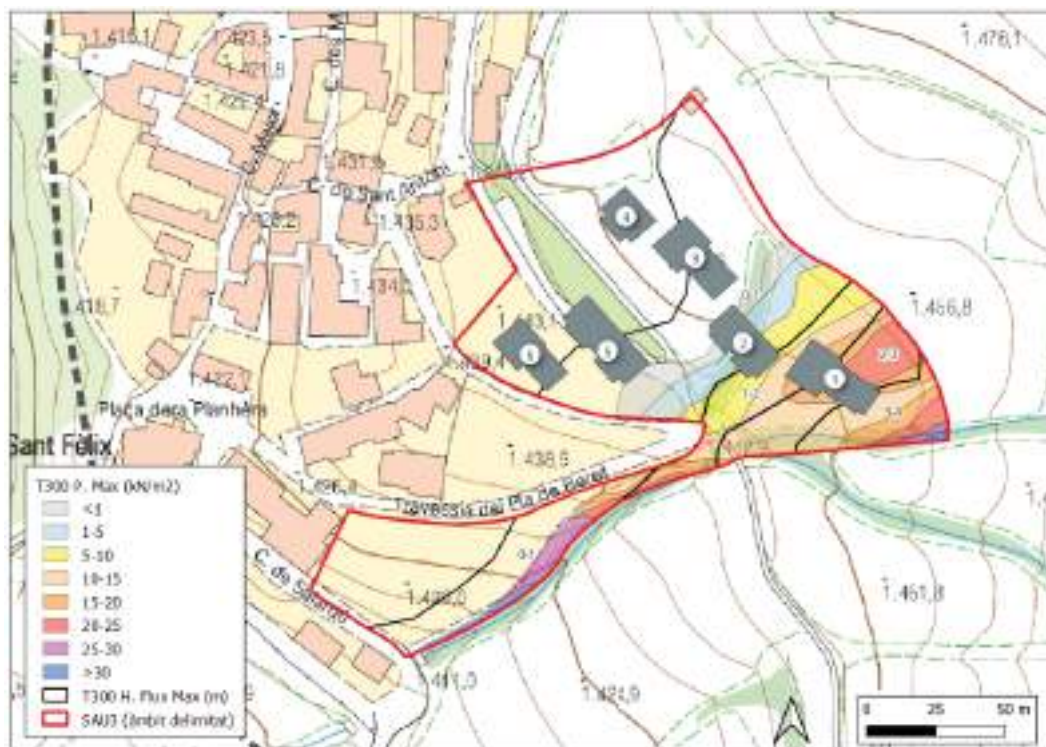


Figura 48. Pressió màxima i alçada de flux màxims esperades en l'àmbit delimitat (SAU3).

Amb aquests resultats, les accions que han de aguantar els murs i les obertures dels edificis es mostren a la Taula 13. Els edificis afectats són principalment l'1 i el 2. Per a la resta d'edificis, les pressions serien inferiors a 1 kPa per als murs orientats a NE i SE.

Taula 13. Estimació del gruix de neu total a l'altura del SAU3 per a T300.

Edifici	Costat	Flux dens		Aerosol	
		P (kPa)	H (m)	P (kPa)	H (m)
1	NE	25	6	2	>6
1	SE	20	7	2	>7
2	NE	10	4	1	>4
2	SE	15	6	1	>6

Es proposa el reforç dels murs i obertures segons pressions i altures obtingudes. Pel que fa les obertures, aquestes caldrà que disposin de porticons protectors dimensionats per aguantar aquestes pressions dinàmiques. Per l'aerosol, cal tenir en compte que aquest es

descomposa en unes accions verticals i laterals (Figura 49). Cal tenir-ho en compte per a tots els elements exteriors dels edificis, per exemple, pel voladís de les cobertes.

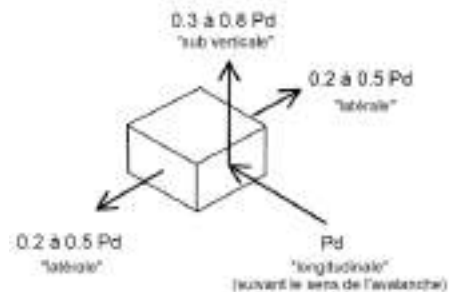


Figura 49. Efectes d'un aerosol sobre un edifici segons el MEDD-METLTM¹². Pd: pressió de referència.

El reforç de murs i obertures haurà d'anar complementat amb un pla d'autoprotecció que ha de garantir que, en situacions d'emergència (perill 5):

- Els porticons de les obertures posteriors dels edificis estiguin tancats.
- No hi hagi persones a l'exterior dels edificis.

¹² MEDD-METLTM (2004). Construire en Montagne. La prise en compte du risque d'avalanche.

11 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 a la zona d'estudi s'ha determinat la peril·lositat per allaus a l'emplaçament de l'àmbit del SAU3 (àmbit delimitat). Es conclou que:

- No hi ha constància prèvia d'afectació a l'àmbit delimitat (SAU 3). Tanmateix, hi ha referències i indicis d'afectació a zones properes.
- Les allaus de l'obaga de Comalada són relativament freqüents i hi ha indicis d'arribada a zones properes al poble, destruint una quadra a la proximitat fa uns 200 anys.
- Les allaus de serra de Bagergue no hi ha indicis ni constància clars d'arribada a la població de Bagergue. Hi ha una referència de que potser fa 300 o 400 anys un aerosol podria haver arribat al poble.

Tanmateix, els resultats de les modelitzacions amb RAMMS::EXTENDED mostren que les allaus, per a un període de retorn de 300 anys (escenari excepcional), poden afectar al SAU3.

En base a les pressions i alçada de flux màxims obtingudes en les simulacions per al nucli dens i l'aerosol, es proposa una estratègia passiva de protecció (Figura 50):

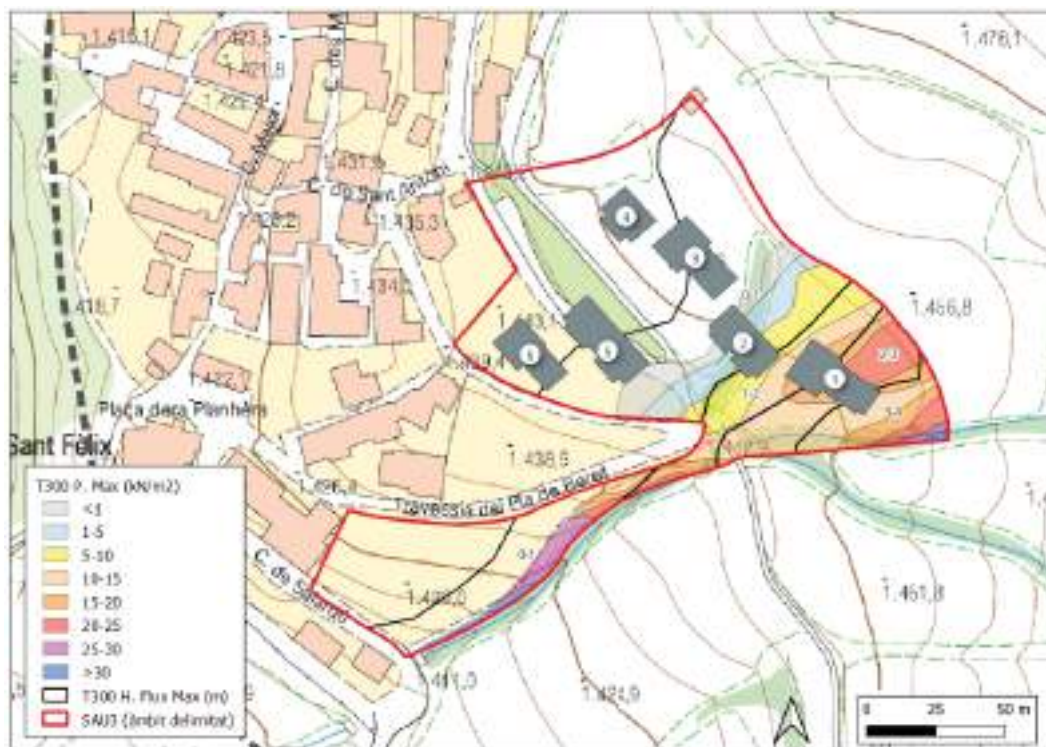


Figura 50. Pressió màxima i alçada de flux màxims esperades en l'àmbit delimitat (SAU3).

Amb aquests resultats, les accions que han de aguantar els murs i les obertures dels edificis es mostren a la Taula 13. Els edificis afectats són principalment l'1 i el 2. Per a la resta d'edificis, les pressions serien inferiors a 1 kPa per als murs orientats a NE i SE.

Taula 14. Estimació del gruix de neu total a l'altura del SAU3 per a T300.

Edifici	Costat	Flux dens		Aerosol	
		P (kPa)	H (m)	P (kPa)	H (m)
1	NE	25	6	2	>6
1	SE	20	7	2	>7
2	NE	10	4	1	>4
2	SE	15	6	1	>6

Es proposa el reforç dels murs i obertures segons pressions i altures obtingudes. Pel que fa les obertures, aquestes caldrà que disposin de porticons protectors dimensionats per aguantar aquestes pressions dinàmiques. Per l'aerosol, cal tenir en compte que aquest es

descomposa en unes accions verticals i laterals (Figura 49). Cal tenir-ho en compte per a tots els elements exteriors dels edificis, per exemple, pel voladís de les cobertes.

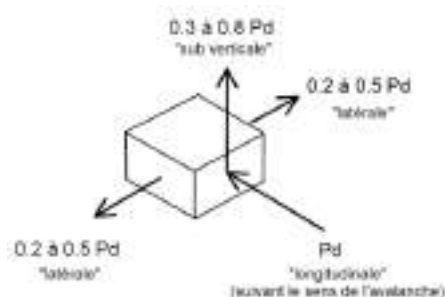


Figura 51. Efectes d'un aerosol sobre un edifici segons el MEDD-METLTM¹³. Pd: pressió de referència.

El reforç de murs i obertures haurà d'anar complementat amb un pla d'autoprotecció que ha de garantir que, en situacions d'emergència (perill 5):

- Els porticons de les obertures posteriors dels edificis estiguin tancats.
- No hi hagi persones a l'exterior dels edificis.

Barcelona, abril de 2024

OLLER
FIGUERAS
PERE -
38101757A

Firmado
digitalmente por
OLLER FIGUERAS
PERE - 38101757A
Fecha: 2024.04.29
13:40:25 +02'00'

Pere Oller Figueras
Geòleg col·legiat 7444
GeoNeu Risk S.L.U.

¹³ MEDD-METLTM (2004). Construire en Montagne. La prise en compte du risque d'avalanche.

ANNEX 1. INFORMACIÓ D'OBSERVACIONS D'ALLAUS I ENQUESTA

Informació d'observació i enquesta disponible a la BDAC

INFORME D'OBSERVACIÓ D'ALLAU**Vall: Unholà****Codi zona: UNH009****Temporada: 2004****Número: 01****DADES DE L'OBSERVACIÓ**

S'han fet fotografies	Sí	Lloc d'observació	Cap de Blanhiblar	Data d'observació (aaaa-mm-dd)	2005-02-08
S'ha observat la caiguada		Font d'informació		Mitjans de referenciació	
Distància zona de sortida		Distància zona de trajecte		Distància zona d'arribada	

DADES DE CAIGUDA DE L'ALLAU

Data (aaaa-mm-dd)	2005-03-08	Hora (hh:mm)		Tipus de temps	Cel cobert / Boira / Nevada
Temperatura de l'aire	999.0	Intensitat i direcció del vent	Moderat	Direcció aproximada	?

DADES DE L'ALLAU

Tipus de sortida	Allau sense cohesió sortida lineal	Amp. sortida		Amp. màx. bloq.	
Tipus de superfície de lliscament	Superfície de neu desconeguda	Gruix cicatriu		Alt. màx. bloq.	
Humitat de la neu	Allau de neu seca	Longitud		Fons màx. bloq.	
Desplaçament de la neu	?	Gruix dipòsit		Cota superior	2100
Tipus de dipòsit	?	Amp. dipòsit		Cota inferior	2000
				Desnivell	100

MORFOLOGIA DE L'ALLAU

Zona de sortida	Vessant obert	Perfil zona de sortida	?	Orientació zona de sortida	W
Zona de trajecte	Vessant obert	Pendent zona de sortida (°)		Orientació vessant	SW
Zona d'arribada	Vessant obert	Pendent zona de trajecte (°)		Causes de l'origen de l'allau	?(no se sap l'origen)
Danys produïts	Absència de danys	Altres danys			

DADES DELS AFECTATS PER L'ALLAU

Nombre de membres del grup		Han provocat l'allau			
Tipus d'activitat	?				
Els ha arplegat l'allau					
Duien arva	?	Duien pala	?	Duien sonda	?
Nombre de membres amb arva		Nombre de membres amb pala		Nombre de membres amb sonda	
Nombre de víctimes amb arva		Nombre de víctimes amb pala		Nombre de víctimes amb sonda	

DADES DE LA OPERACIÓ DE RESCAT

Tipus de rescat	?	Temps entre l'accident i la intervenció (min)		Nombre de rescatadors	
Mètode de rescat	?	Grup de rescat		Altres material utilitzat	

RESUM INFORMATIU

NºReg.Enquesta (Zona allau)	0	NºReg.Observacions (Zona allau)	2	NºReg.Víctimes (Allau)	0
-----------------------------	---	---------------------------------	---	------------------------	---

RESSENYA GRÀFICA

	
Escala aproximada 1:25 000	Fotografia 1 / 3

INFORME D'OBSERVACIÓ D'ALLAU**Vall: Unholà****Codi zona: UNH009****Temporada: 2013****Número: 01****DADES DE L'OBSERVACIÓ**

S'han fet fotografies	Sí	Lloc d'observació	Cap dera Serra (E)	Data d'observació (aaaa-mm-dd)	2014-01-26
S'ha observat la caiguada		Font d'informació	Fotografies de l'allau	Mitjans de referenciació	Ortofoto 1:5.000
Distància zona de sortida		Distància zona de trajecte		Distància zona d'arribada	

DADES DE CAIGUDA DE L'ALLAU

Data (aaaa-mm-dd)		Hora (hh:mm)		Tipus de temps	?
Temperatura de l'aire		Intensitat i direcció del vent	?	Direcció aproximada	?

DADES DE L'ALLAU

Tipus de sortida	?	Amp. sortida		Amp. màx. bloq.	
Tipus de superfície de lliscament	?	Gruix cicatriu		Alt. màx. bloq.	
Humitat de la neu	Allau de neu humida	Longitud		Fons màx. bloq.	
Desplaçament de la neu	Allau de flux dens	Gruix dipòsit		Cota superior	
Tipus de dipòsit	?	Amp. dipòsit	74.0	Cota inferior	
				Desnivell	0

MORFOLOGIA DE L'ALLAU

Zona de sortida	Zona de circ	Perfil zona de sortida	?	Orientació zona de sortida	?
Zona de trajecte	Canal	Pendent zona de sortida (°)		Orientació vessant	E
Zona d'arribada	Canal	Pendent zona de trajecte (°)		Causas de l'origen de l'allau	? (no se sap l'origen)
Danys produïts	Absència de danys	Altres danys			

DADES DELS AFECTATS PER L'ALLAU

Nombre de membres del grup		Han provocat l'allau	?		
Tipus d'activitat	?				
Els ha arplegat l'allau	?				
Duien arva	?	Duien pala	?	Duien sonda	?
Nombre de membres amb arva		Nombre de membres amb pala		Nombre de membres amb sonda	
Nombre de víctimes amb arva		Nombre de víctimes amb pala		Nombre de víctimes amb sonda	

DADES DE LA OPERACIÓ DE RESCAT

Tipus de rescat	?	Temps entre l'accident i la intervenció (min)		Nombre de rescatadors	
Mètode de rescat		Grup de rescat		Altres material utilitzat	

RESUM INFORMATIU

NºReg.Enquesta (Zona allau)	0	NºReg.Observacions (Zona allau)	2	NºReg.Víctimes (Allau)	0
-----------------------------	---	---------------------------------	---	------------------------	---

RESSENYA GRÀFICA

	
Escala aproximada 1:25 000	Fotografia 1 / 1

INFORME D'OBSERVACIÓ D'ALLAU**Vall: Unholà****Codi zona: UNH010****Temporada: 2010****Número: 01****DADES DE L'OBSERVACIÓ**

S'han fet fotografies	Sí	Lloc d'observació	Sèrra de Comalada	Data d'observació (aaaa-mm-dd)	2011-03-04
S'ha observat la caiguda		Font d'informació	Fotografies de l'allau	Mitjans de referenciació	?
Distància zona de sortida		Distància zona de trajecte		Distància zona d'arribada	

DADES DE CAIGUDA DE L'ALLAU

Data (aaaa-mm-dd)	2011-03-04	Hora (hh:mm)	10:30:00	Tipus de temps	
Temperatura de l'aire		Intensitat i direcció del vent	?	Direcció aproximada	?

DADES DE L'ALLAU

Tipus de sortida	Allau de placa	Amp. sortida	150.0	Amp. màx. bloq.	
Tipus de superfície de lliscament	Superfície de neu desconeguda	Gruix cicatriu		Alt. màx. bloq.	
Humitat de la neu	Allau de neu humida	Longitud		Fons màx. bloq.	
Desplaçament de la neu	Allau de flux dens	Gruix dipòsit		Cota superior	2195
Tipus de dipòsit	En boles	Amp. dipòsit		Cota inferior	
				Desnivell	0

MORFOLOGIA DE L'ALLAU

Zona de sortida	Ressalt rocós	Perfil zona de sortida	?	Orientació zona de sortida	NNW
Zona de trajecte	Vessant obert	Pendent zona de sortida (°)		Orientació vessant	NW
Zona d'arribada	Vessant obert	Pendent zona de trajecte (°)		Causes de l'origen de l'allau	Accidental-Pas persona
Danys produïts	?	Altres danys			

DADES DELS AFECTATS PER L'ALLAU

Nombre de membres del grup		Han provocat l'allau	?		
Tipus d'activitat	Surf de fora-pista				
Els ha arplegat l'allau	?				
Duien arva	?	Duien pala	?	Duien sonda	?
Nombre de membres amb arva		Nombre de membres amb pala		Nombre de membres amb sonda	
Nombre de víctimes amb arva		Nombre de víctimes amb pala		Nombre de víctimes amb sonda	

DADES DE LA OPERACIÓ DE RESCAT

Tipus de rescat	?	Temps entre l'accident i la intervenció (min)		Nombre de rescatadors	
Mètode de rescat		Grup de rescat		Altres material utilitzat	

RESUM INFORMATIU

NºReg.Enquesta (Zona allau)	0	NºReg.Observacions (Zona allau)	2	NºReg.Víctimes (Allau)	0
-----------------------------	---	---------------------------------	---	------------------------	---

RESSENYA GRÀFICA

		
Escala aproximada 1:25 000		Fotografia 1 / 4

INFORME D'OBSERVACIÓ D'ALLAU**Vall: Unholà****Codi zona: UNH010****Temporada: 2010****Número: 02****DADES DE L'OBSERVACIÓ**

S'han fet fotografies	Sí	Lloc d'observació	Sèrra de Comalada	Data d'observació (aaaa-mm-dd)	2011-03-04
S'ha observat la caiguada		Font d'informació	Fotografies de l'allau	Mitjans de referenciació	?
Distància zona de sortida		Distància zona de trajecte		Distància zona d'arribada	

DADES DE CAIGUDA DE L'ALLAU

Data (aaaa-mm-dd)	2011-03-04	Hora (hh:mm)		Tipus de temps	
Temperatura de l'aire		Intensitat i direcció del vent	?	Direcció aproximada	?

DADES DE L'ALLAU

Tipus de sortida	Allau de placa	Amp. sortida	86.0	Amp. màx. bloq.	
Tipus de superfície de lliscament	Superfície de neu desconeguda	Gruix cicatriu		Alt. màx. bloq.	
Humitat de la neu		Longitud		Fons màx. bloq.	
Desplaçament de la neu		Gruix dipòsit		Cota superior	2185
Tipus de dipòsit		Amp. dipòsit		Cota inferior	
				Desnivell	0

MORFOLOGIA DE L'ALLAU

Zona de sortida	Pala	Perfil zona de sortida	Cóncau	Orientació zona de sortida	NNW
Zona de trajecte		Pendent zona de sortida (°)		Orientació vessant	NNW
Zona d'arribada		Pendent zona de trajecte (°)		Causas de l'origen de l'allau	Accidental
Danys produïts		Altres danys			

DADES DELS AFECTATS PER L'ALLAU

Nombre de membres del grup		Han provocat l'allau	?		
Tipus d'activitat	?				
Els ha arreplegat l'allau	?				
Duien arva	?	Duien pala	?	Duien sonda	?
Nombre de membres amb arva		Nombre de membres amb pala		Nombre de membres amb sonda	
Nombre de víctimes amb arva		Nombre de víctimes amb pala		Nombre de víctimes amb sonda	

DADES DE LA OPERACIÓ DE RESCAT

Tipus de rescat	?	Temps entre l'accident i la intervenció (min)		Nombre de rescatadors	
Mètode de rescat		Grup de rescat		Altres material utilitzat	

RESUM INFORMATIU

NºReg.Enquesta (Zona allau)	0	NºReg.Observacions (Zona allau)	2	NºReg.Víctimes (Allau)	0
-----------------------------	---	---------------------------------	---	------------------------	---

RESSENYA GRÀFICA

	
Escala aproximada 1:25 000	Fotografia 1 / 6

**INFORME D'ENQUESTA D'ALLAU****Vall: Unholà****Codi zona: UNH005****Núm. enquesta: 1****DADES DE L'ENQUESTA**

Data enquesta	1988-08-01	Data caiguda			
---------------	------------	--------------	--	--	--

ATRIBUTS ENQUESTATS

Topònim		Amp. de la zona de sortida (m)		Període de retorn	
Abast màxim (m)	Carretera	Amp. zona d'arribada (m)		Danys	
Cota de l'abast màxim (m)		Gruix acumulat (cm)		Altres	Passa la carretera de Salardú a Bagergue

RESUM INFORMATIU

NºReg.Enquesta (Zona allau)	2	NºReg.Observacions (Zona allau)	1	NºReg.Víctimes (Zona allau)	0
-----------------------------	---	---------------------------------	---	-----------------------------	---

RESSENYA GRÀFICA

Escala aproximada 1:25 000	

Enquestes informe ICGC 2010 ([Doc. 1])

Lloc i data:	Bagèrgue, 16 de setembre de 2009
Dades del entrevistat:	Felip Estrada Mateu. 72 anys. Propietari de l'Hotel Seixes (Bagèrgue)
INFORMACIÓ DE BAGÈRGUE	
- No coneix afectació directe per allaus en el nucli de Bagèrgue. Es diu que potser fa 300 o 400 anys va arribar un "pobi" (aerosol) que afectà al poble. - "Fa uns 200 anys una allau va afectar una borda de l'entrada del poble, era per Setmana Santa", li va explicar el seu pare. - Té constància directa d'allaus grans el 1963 i 1982 que sobrepassen la corba de la carretera a la sortida del poble (en el mateix punt que li havia explicat el seu pare). - En els anys 1975-76 es va fer una repoblació forestal en els vessants de Bagèrgue que ha frenat l'activitat d'allaus.	
 Entrada del poble afectada diverses vegades Possible ubicació de la borda	

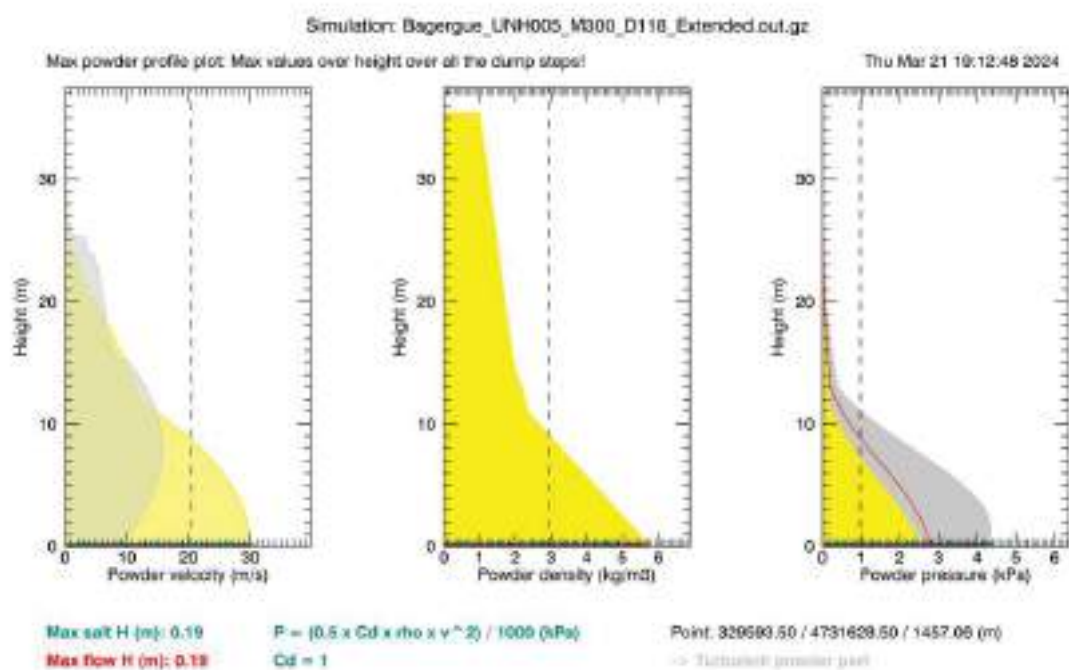
Lloc i data:	Bagergue, 7 d'octubre de 2009
Dades del entrevistat:	Felip Estrada Mateu, 72 anys. Propietari de l'Hotel Seixes (Bagergue)
INFORMACIÓ DE BAGERGUE	
- L'ha vist baixar dues vegades una allau que surt del Llos Hero fins a la carretera: any 63 i 82. L'any 63 va ser al mes de gener a les 12-1 de la nit "Havia baixat lo llebeig i van trobar-se la màquina que obria la carretera quan tornaven de Salardú". L'any 1982 es va dividir en dos i es va tronar a ajuntar a la corba. - Les allaus que baixen del circ de sobre el poble es queden a la conca. Ha vist un llebeig que sortia del pas de les "gueres" (un pas amb pedra negra). Recorda que li havien dit que una allau havia arribat al poble provenint de la part dreta del circ, a la tartera.	
	
	

Lloc i data:	Bagergue, 15 d'octubre de 2009
Dades del entrevistat:	Alfonso Paba, 69 anys. Veí de Bagergue, (acompanyat de Emilio Moga, 78 anys. Veí de Salardú)
INFORMACIÓ DE BAGERGUE	
- No recorda cap allau d'arribada a Bagergue. - Li han explicat que una vegada va baixar i es va emportar una borda que hi havia a l'entrada del poble. - Ha vist baixar unes quantes vegades una allau que surt de la tartera del Llos Hero. L'any 64(?) va baixar i es va emportar els arbres que hi havia abans d'arribar a la carretera i va arribar al riu. - L'any passat va nevar 60cm/nit	

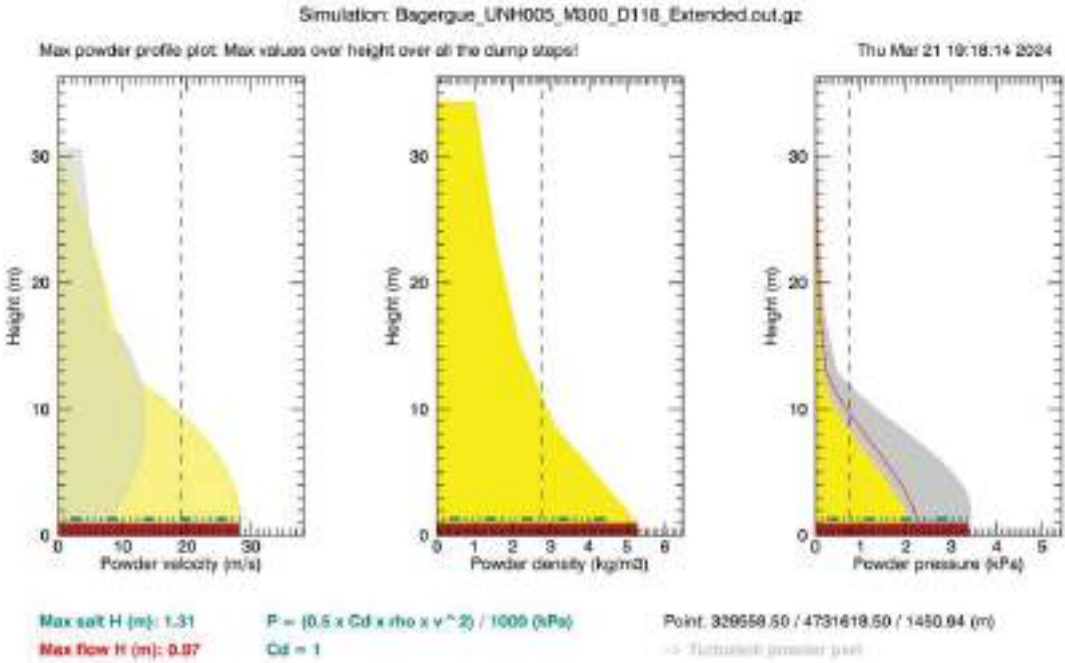
ANNEX 2: DISTRIBUCIÓ VERTICAL DE PRESSIÓ DE L'AEROSOL

1 Resultat component d'aerosol

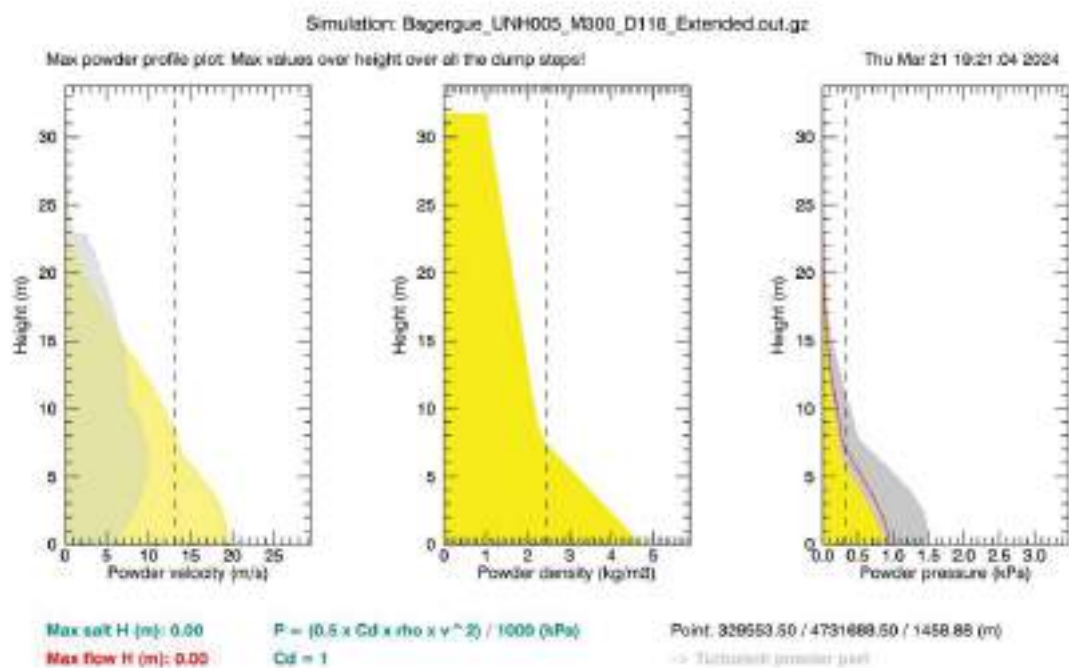
1.1 Component d'aerosol UNH005 1 T300



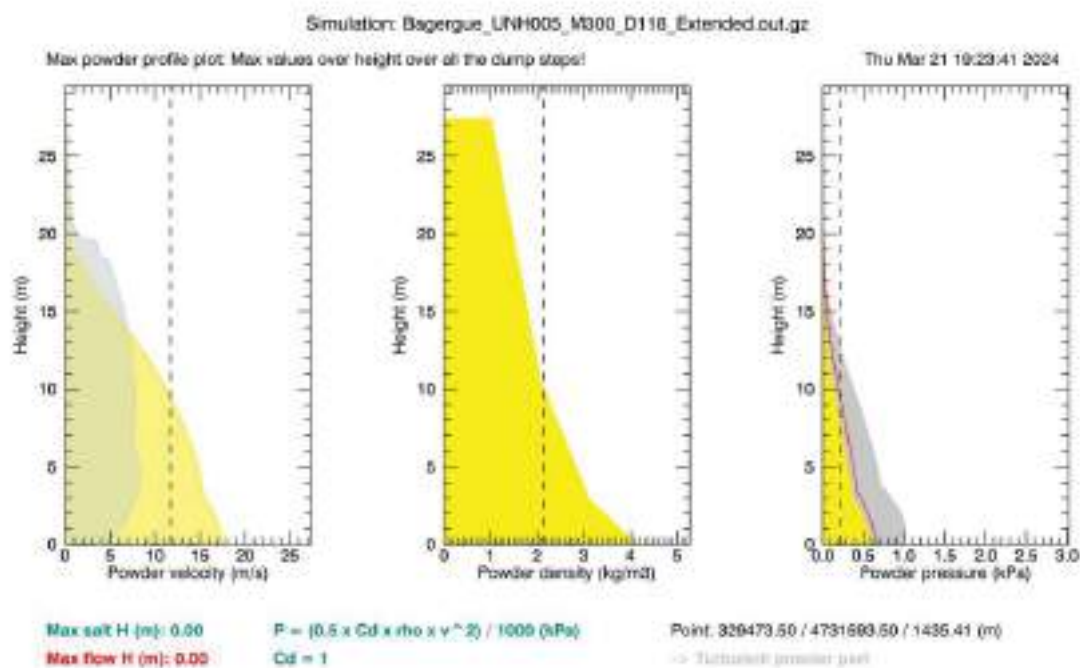
1.2 Component d'aerosol UNH005 2 T300



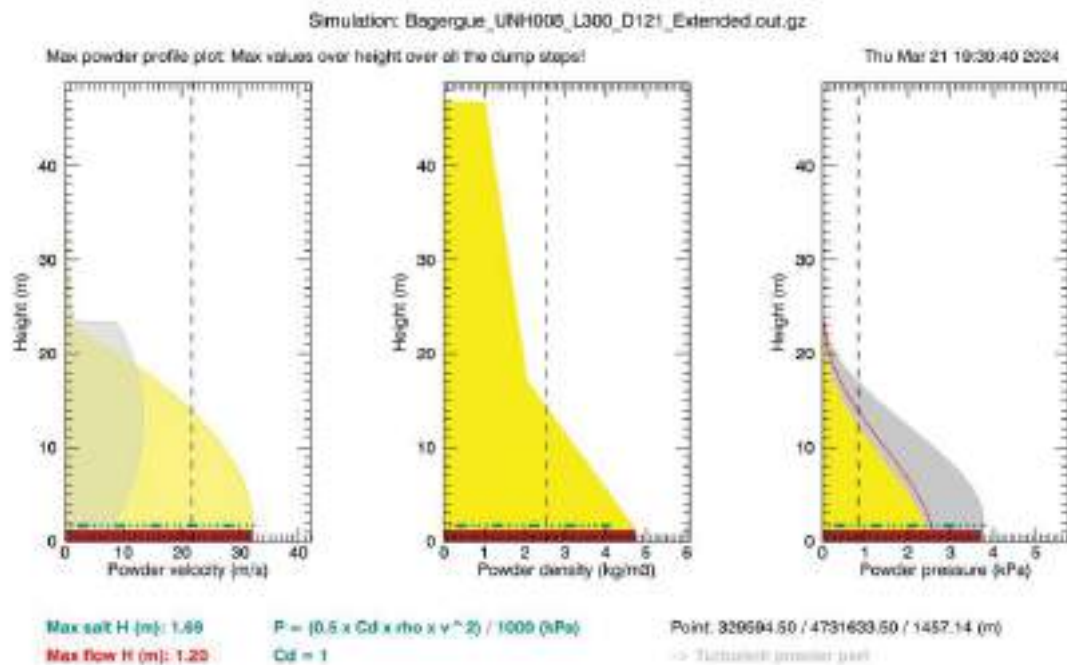
1.3 Component d'aerosol UNH005 3 T300



1.4 Component d'aerosol UNH005 4 T300



1.5 Component d'aerosol UNH008 1 T300



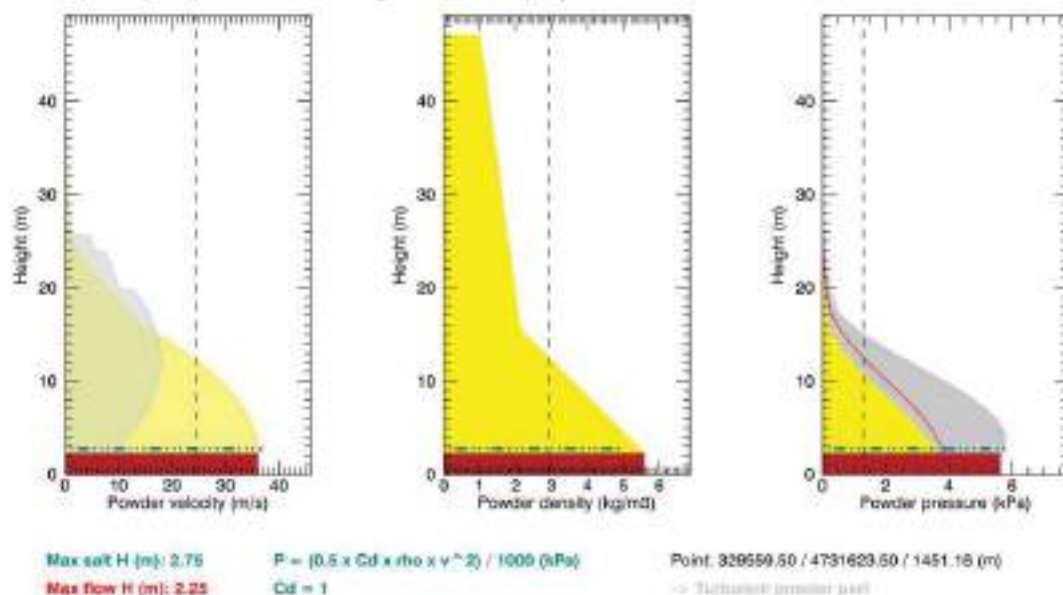
1.6 Component d'aerosol UNH008 2 T300



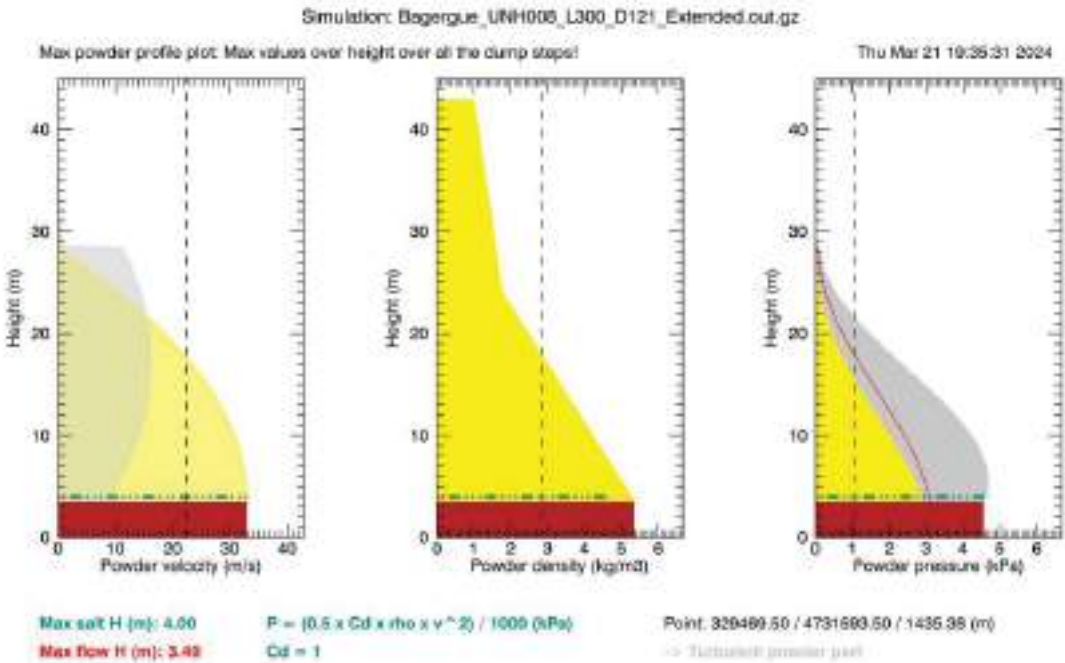
Simulation: Bagergue_UNH008_L300_D121_Extended.out.gz

Max powder profile plot: Max values over height over all the dump steps!

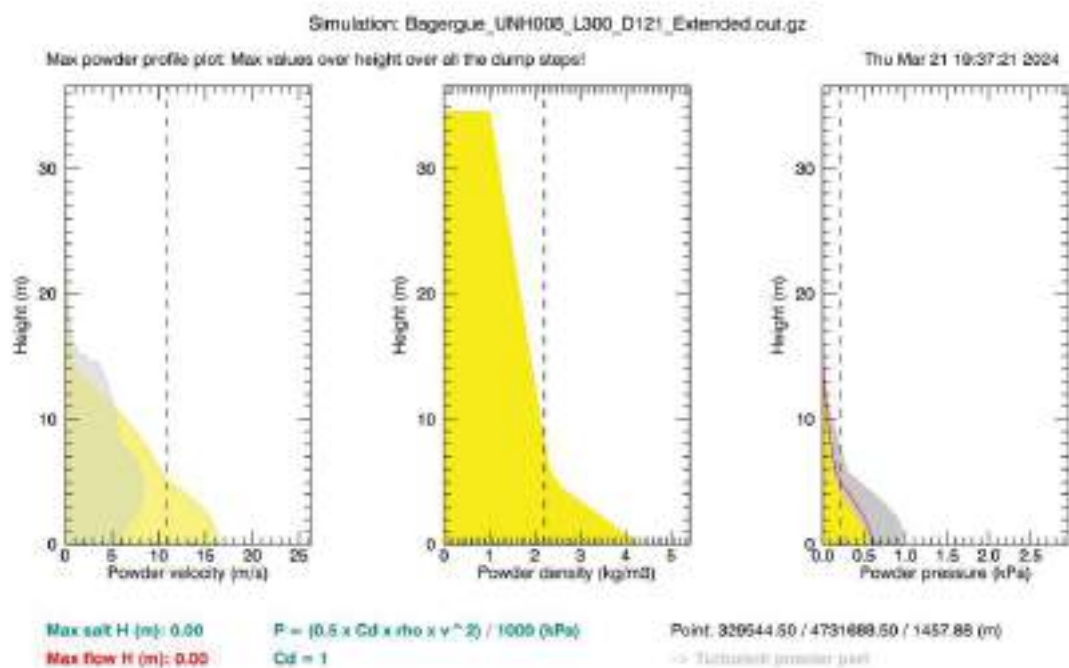
Thu Mar 21 19:32:51 2024



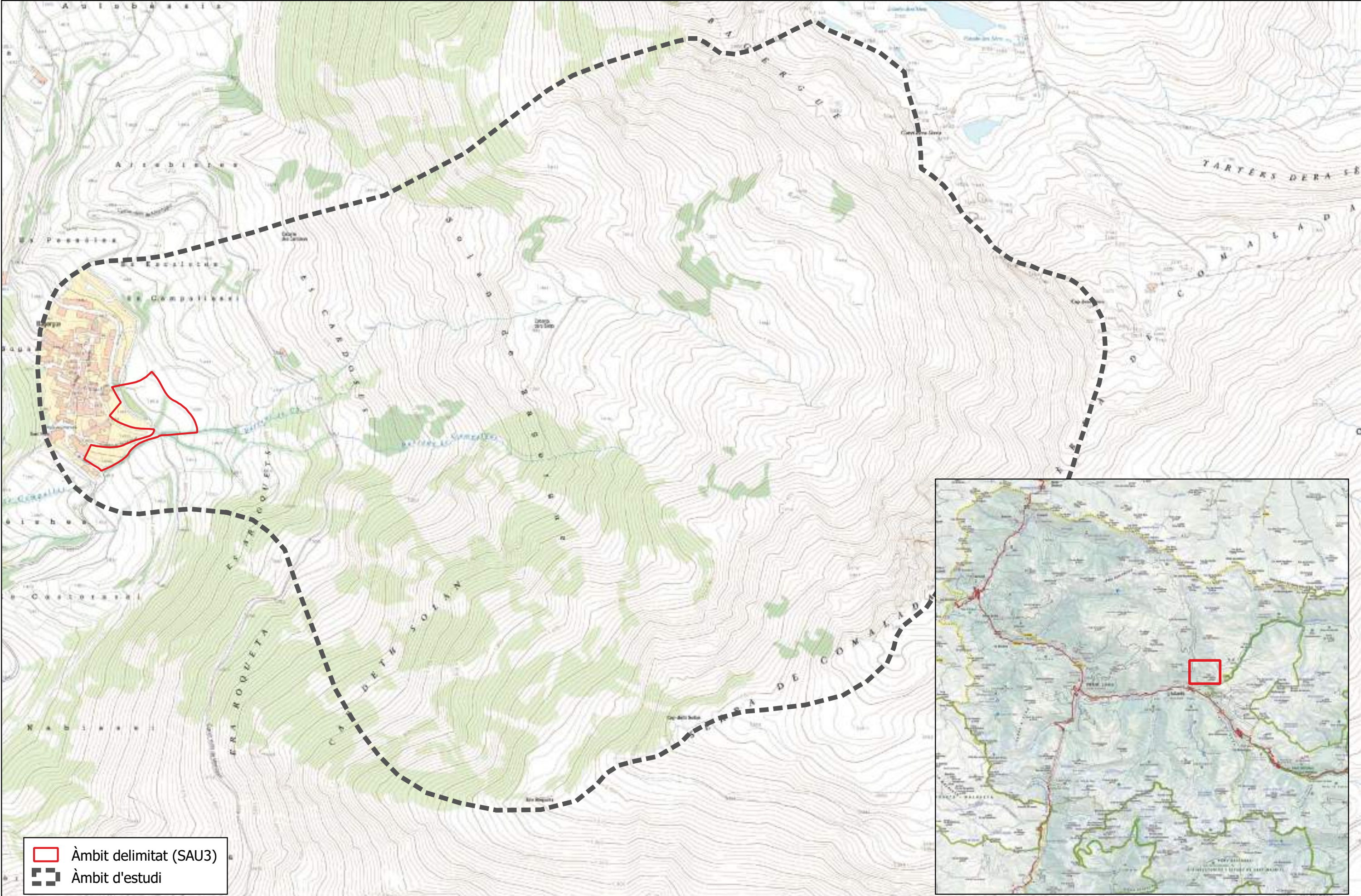
1.7 Component d'aerosol UNH008 3 T300



1.8 Component d'aerosol UNH008 4 T300



ANNEX 3. PLÀNOLS

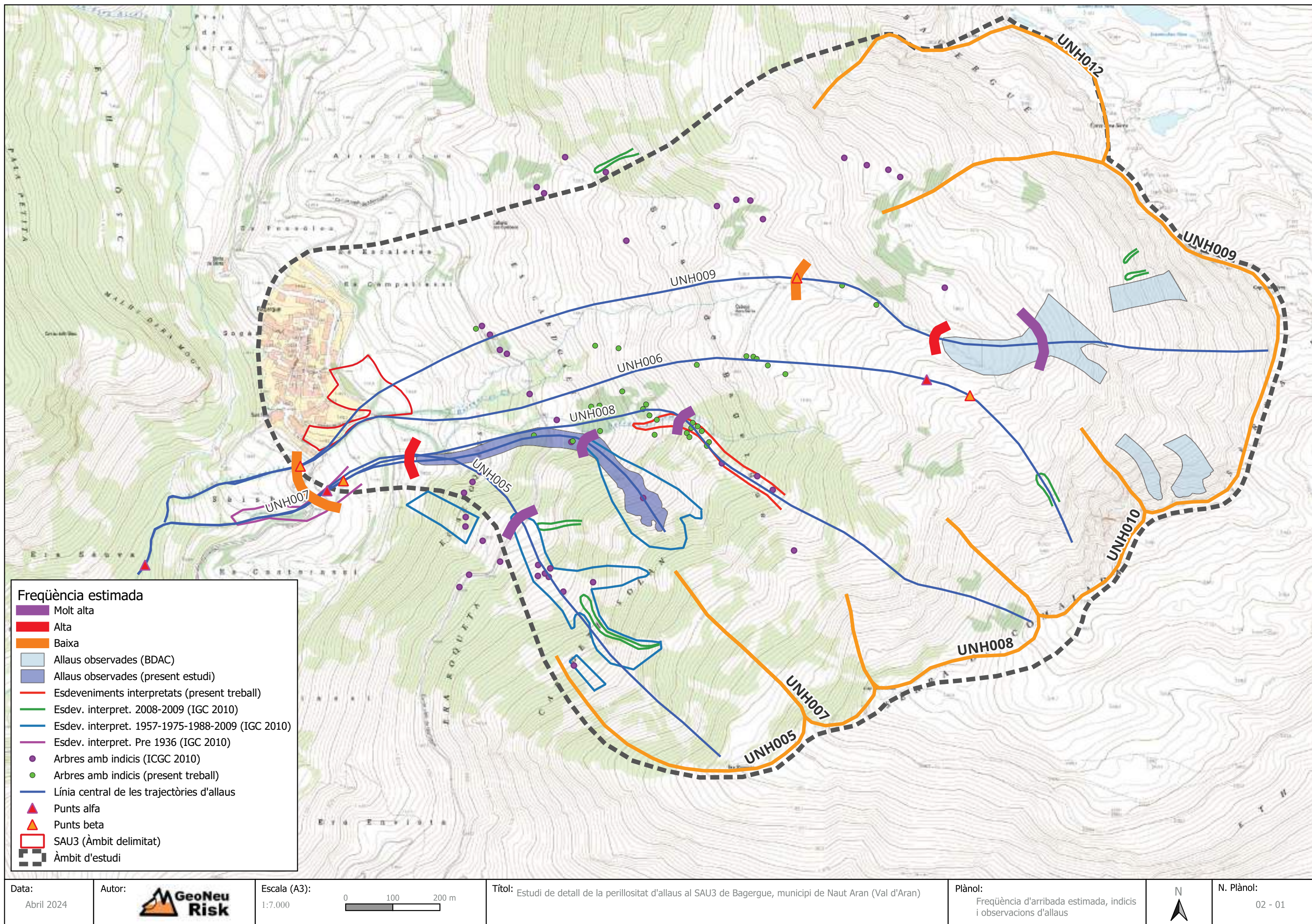


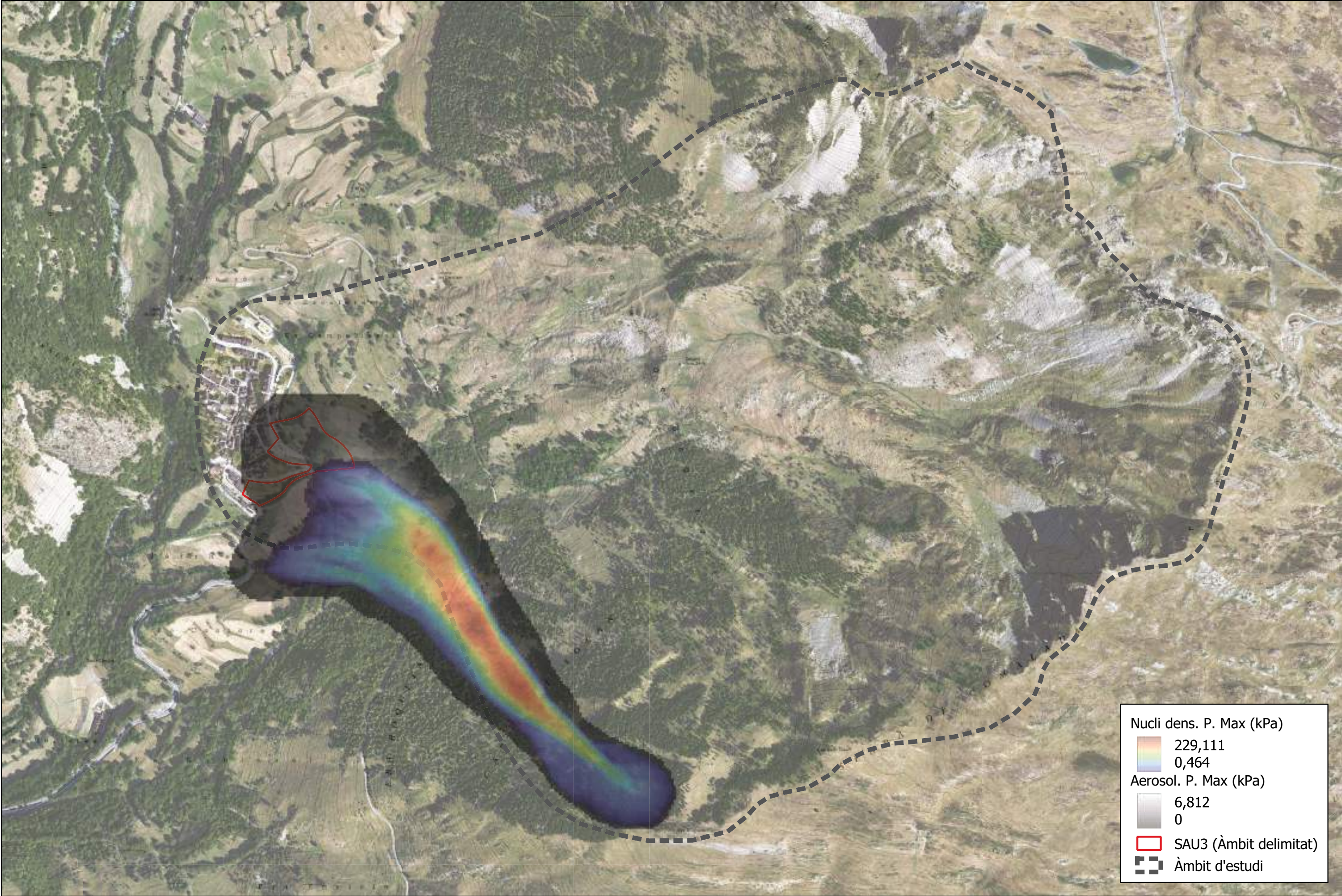


Àmbit delimitat (SAU3)



Àmbit d'estudi





Nucli dens. P. Max (kPa)

229,111

0,464

Aerosol. P. Max (kPa)

6,812

0

SAU3 (Àmbit delimitat)

Àmbit d'estudi



Nucli dens. P. Max (kPa)

68,545

0,47

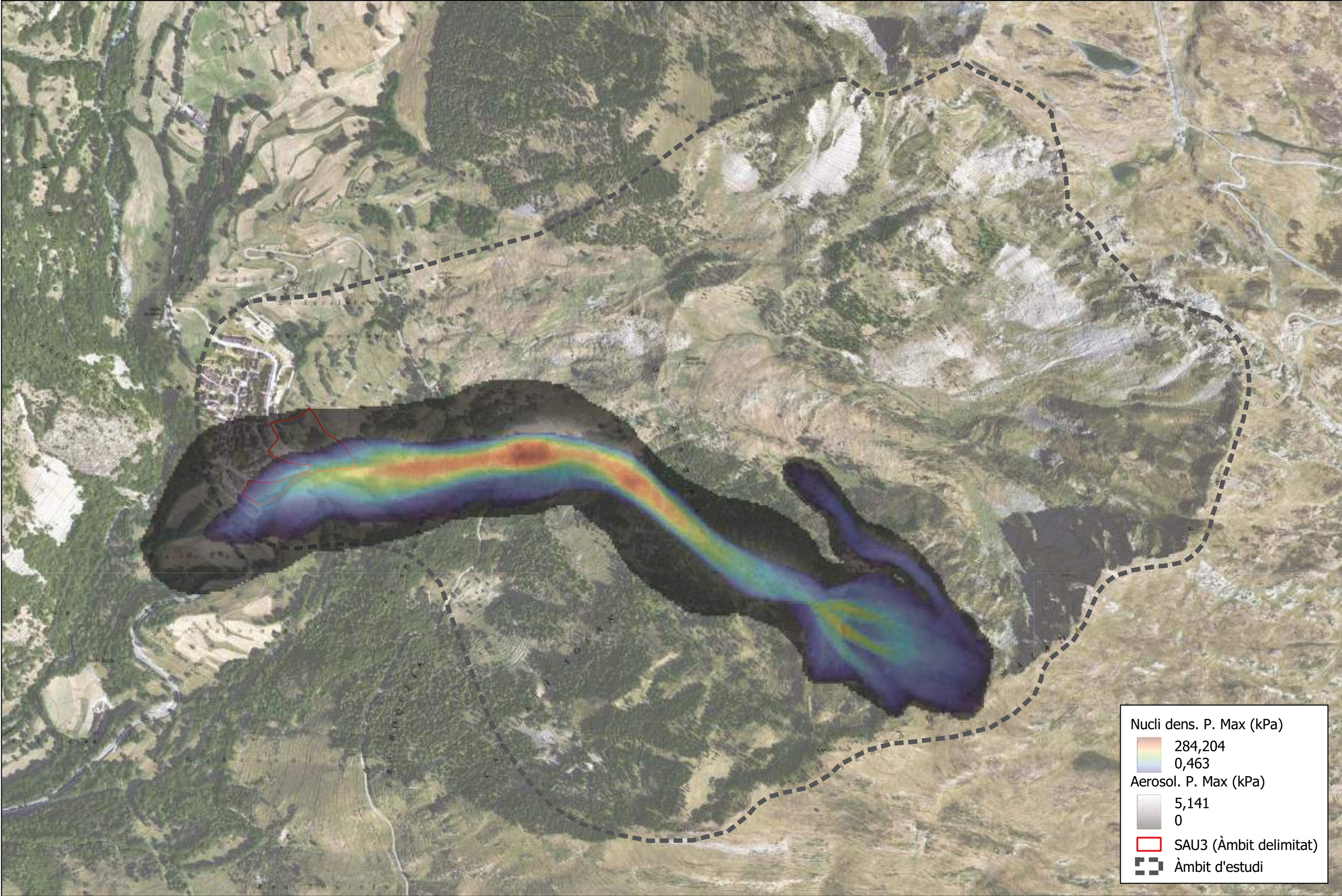
Aerosol. P. Max (kPa)

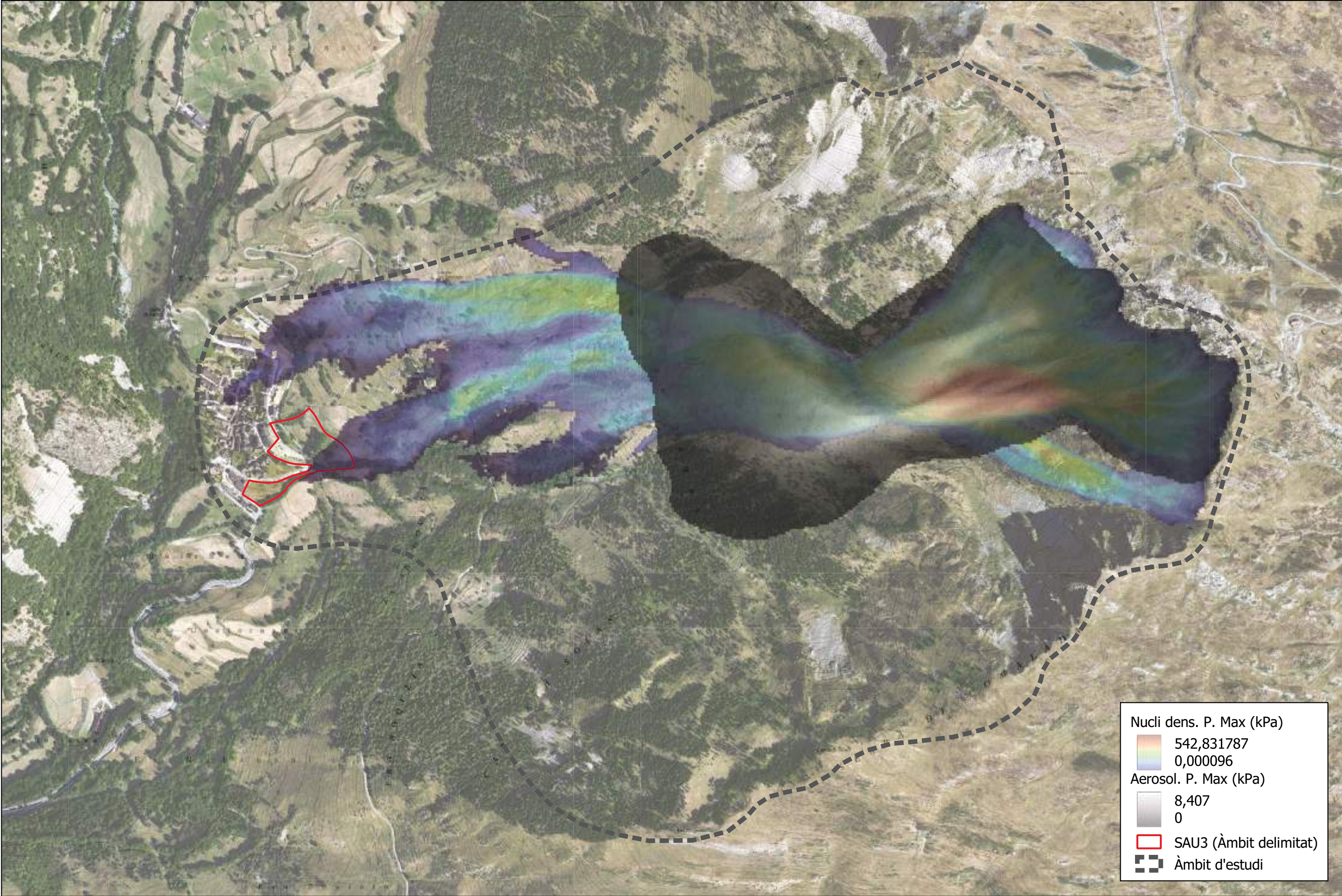
0,887

0

SAU3 (Àmbit delimitat)

Àmbit d'estudi



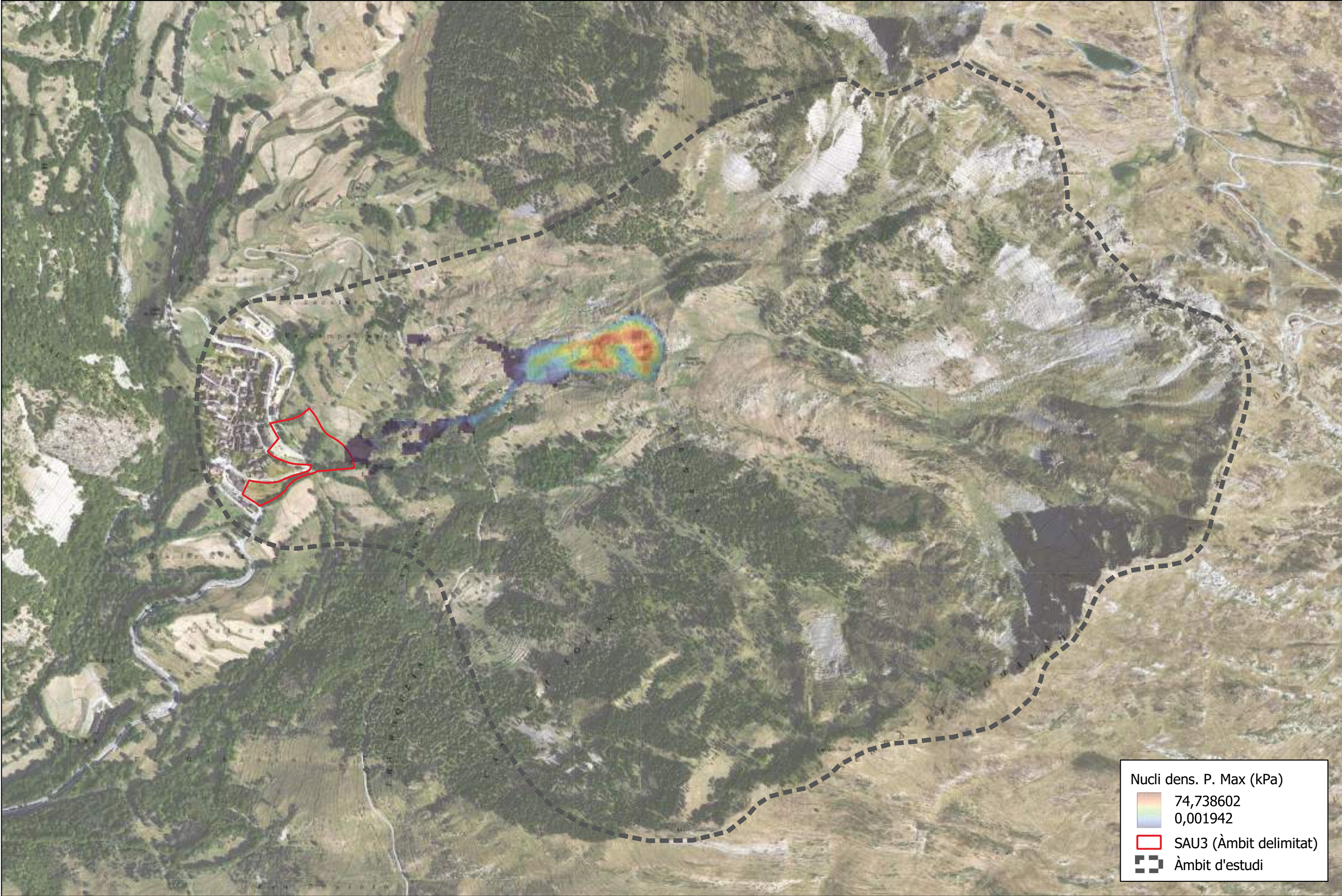


Nucli dens. P. Max (kPa)
542,831787
0,000096

Aerosol. P. Max (kPa)
8,407
0

SAU3 (Àmbit delimitat)

Àmbit d'estudi



Nucli dens. P. Max (kPa)

74,738602
0,001942

SAU3 (Àmbit delimitat)

Àmbit d'estudi

