



MODIFICACIÓ PUNTUAL NNSS UA2 i UA3 · GESSA (NAUT ARAN)

ABRIL 2023

ANNEX 2

ESTUDI TÈCNIC AFECTACIÓ ALLAUS



Ajuntament de Naut Aran
Val d'Aran (Lleida)

REDACTOR: ARQCOAS ARQUITECTURA I URBANISME SLP
ARQUITECTES REDACTORS: ALBERT SIMÓ · ORIOL MONFORT

ESTUDI TÈCNIC ESPECÍFIC SOBRE L'AFECTACIÓ
D'ALLAUS A LA ZONA DE MODIFICACIÓ PUNTUAL
NNSS UA2 i UA3 A GESSA
(NAUT ARAN). VALL D'ARAN

NR-VLA01/2023

Andorra
Febrer del 2023

Nivorisk SL, Casa Nova Arrero Àtic. Segudet. Arcalís- [Tel:394058](tel:394058) Email: r2andorra@gmail.com

nivorisk@nivorisk.com

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ: EMPRESA AUTORITZADA I EQUIP REDACTOR.....	5
2. PROJECTE DE REFERÈNCIA PEL QUAL ES FA L'ESTUDI.....	6
2.1. SITUACIÓ DE LA ZONA D'ESTUDI.....	7
3. ANTECEDENTS HISTÒRICS I TESTIMONIATGE	10
4. ANÀLISI DELS PARÀMETRES NIVOMETEOROLÒGICS: DETERMINACIÓ DELS GRUIXOS DEL MANTELL NIVAL.....	11
4.1. Introducció.....	11
4.2. Règim nival.	12
4.3. Condicions locals.	14
4.4. Bases de dades nivoclimàtiques	15
4.5. Anàlisi de les dades nivològiques	17
4.6. Anàlisis estadística d'extrems d'estacions properes.	19
4.6.1 Neu recent màxima en 24 h (HN24) a 1500 m.....	19
4.6.2 Neu recent màxima en 72 h (HN72) a 1500 m.....	20
4.7. Correccions per condicions locals.....	20
5. ESTUDI DE CAMP: DESCRIPCIÓ GEOMÈTRICA I MORFOLÒGICA DEL VESSANT	21
5.1 ELEMENTS CARACTERÍSTICS.....	21
5.1.1 Altitud.....	21
5.1.2 Pendants.....	22
5.1.3 Morfologia	23
5.1.4 Orientació.	24
5.1.5 Cobertura vegetal	25
6. ANÀLISI MORFOLÒGICA DE LA DINÀMICA DE L'ALLAU	25

6.1 INVENTARI DE ZONES.....	25
7. MODEL NUMÈRIC	26
7.1. INTRODUCCIÓ.....	26
7.2. PUNT DE SORTIDA I CONDICIONS DE CONTORN EN LA SITUACIÓ ACTUAL.....	28
8. ANÀLISI CINEMÀTICA DE L'ALLAU SIMULADA T=100 ANYS.....	30
8.1 SIMULACIONS S1	30
8.1.1 ALÇADES DE NEU (m)	30
8.1.2 VELOCITATS (m/s)	31
8.1.3 PRESSIONS (kPa)	32
PRESSIONS CLASSIFICADES SEGONS (1-30 KPA).....	34
9. VALORACIÓ DE LES SIMULACIONS I PROPOSTA DE PROTECCIONS.	35
10. ANÀLISI DEL RISC RESIDUAL.	38
11. CONCLUSIONS FINALS.....	41
11.1 CONCLUSIONS DE L'ESTUDI.	41
12. LIMITACIONS DE L'ESTUDI.....	43

1. INTRODUCCIÓ: EMPRESA AUTORITZADA I EQUIP REDACTOR

El present estudi es realitza a petició dels Sr. Albert Simó i Oriol Monfort, com a arquitectes redactors de document que correspon a una Modificació puntual de les Normes Subsidiàries (NNSS) de Naut Aran vigents sobre els àmbits de la UA2 i UA3 a llevant del nucli antic de Gessa.

La finalitat del present informe és avaluar les condicions d'afectació per allaus als àmbits de la UA2 i UA3, per analitzar si ambdós àmbits són compatibles amb un risc residual acceptable o si calen algun tipus de mesures de protecció (estructurals, passives o actives).

L'informe ha estat efectuat per l'empresa especialitzada en la realització d'estudis tècnics d'allaus, Nivorisk SL.

L'equip responsable de la redacció d'aquest informe està format per:

► **Sr. Sergi Riba Porras:** Doctor Enginyer Civil amb una experiència de 14 anys en l'àmbit de l'enginyeria civil i riscos naturals, amb les següents acreditacions:

- International Advanced Training Course on Snow and Avalanches. SLF (Institute for Snow and Avalanche Research). Davos.
- Curs (RAMMS-RAPID MASS MOVEMENT): Modelització numèrica de corrents d'arrossegalls i allaus de neu. SLF (Institute for Snow and Avalanche Research). Zurich.
- Curs de formació avançada en procediments de funcionament i manteniment dels sistemes de desencadenament preventiu d'allaus Gazex. Montagne Neige Developpement Iberia S.A.
- **Formació Tècnica Avalancheur:** Manteniment preventiu (comandaments/circuits pneumàtics/elements de seguretat), reparacions en cas de pana. Lacroix//Alsetex. Andorra, Març 2019.
- **Certificat Artificier Avalancheur.** Lacroix//Alsetex. Març 2019
- XVI Curs "*Los explosivos en las obras públicas. Principios Básicos y Aplicaciones.*" (UPC, 2005-06).
- **Curs Professional d'Observació Nivometeorològica i d'Allaus.** Associació per al coneixement de la neu i les allaus (ACNA). Tavascan 2017.
- International Snow Science Workshop (ISSW 2018). Innsbruck (Àustria).

► **Sr. Joan Altimir Planes:** Geòleg i Geògraf especialista en riscos naturals i enginyeria del terreny amb més de 25 anys d'experiència. Director de l'equip redactor de ***“Estudi de zonificació del terreny al Principat d'Andorra segons la seva perillositat deguda a l'afectació per allaus: els Plans de Prevenció de Riscos d'Allaus previsibles.*** Any 2016.”

2. PROJECTE DE REFERÈNCIA PEL QUAL ES FA L'ESTUDI

L'estudi té per objectiu analitzar les característiques i el comportament físic de les allaus del vessant adjacent a les unitats UA2 UA3 situades a llevant del nucli antic de GESSA, per avaluar l'afectació als terrenys que componen ambdues unitats. L'objectiu final és comprovar si alguna de les allaus del vessant estudiat pot arribar a la zona d'estudi i amb quina magnitud, per tal de avaluar-ne la potencial afectació, en cas de necessitat, d'emprendre les mesures de protecció adients.

El present estudi específic d'allaus es realitzarà complimentant els punts mínims establerts segons el: ***“ Informe relatiu a l'expedient ICGC.URB-0050/222 de la Modificació de les Normes Subsidiàries de planejament “Modificació puntual de les Normes subsidiàries del planejament urbanístic en l'àmbit de l'UA 2 i l'UA 3, al nucli de Gessa al terme municipal de Naut Aran (exp. 2021 / 076813 / V)”***, subministrat pels arquitectes autors del projecte.

Es durà a terme una anàlisi estadística de dades nivoclimàtiques i un tractament de les dades geomorfològiques del vessant englobant tota la zona influent al terreny, mitjançant la creació dels respectius models digitals del terreny, creats a partir de la cartografia altimètrica 1/500 ,1/1000 i 1/5000 i vol lidar disponible a L'ICGC.

Finalment s'aplicarà el model numèric RAMMS AVALANCHE de la SLF / WSL Suïssa, mitjançant els complements i la capacitat per interactuar amb el software de tractament de dades espacials Arc Gis 10.3.

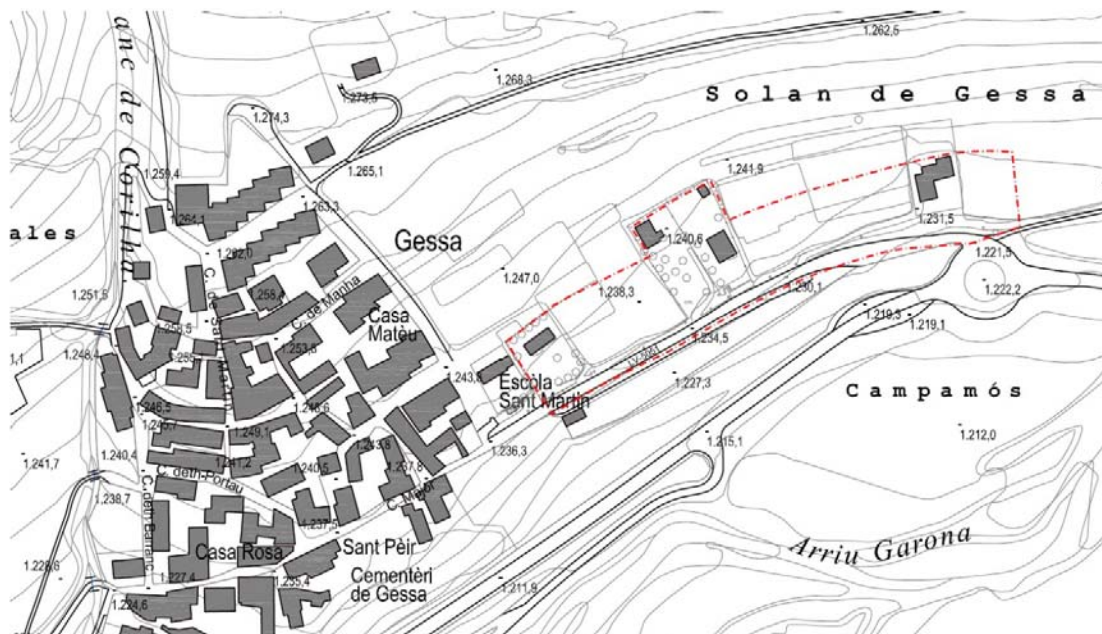
En resum, per a conèixer si es poden produir afectacions als immobles i terrenys adjacents, objecte d'estudi, hi durem a terme les següents investigacions:

1. **Anàlisi estadística d'extrems nivoclimàtics** per calcular els períodes de retorn de nevades intenses que els puguin generar, principalment 100 i 300 anys.
2. **Condicions i escenaris allavosos.** Propensió del terreny i del mantell nival a l'activitat d'allaus.
3. **Investigació històrica** per datar episodis d'allaus del passat en arxius històrics i testimonis amb capacitat d'afectar l'immoble objecte d'aquest estudi.

2.1. SITUACIÓ DE LA ZONA D'ESTUDI

La zona d'estudi se situa a llevant del nucli de Gessa, municipi de Naut Aran, a tocar de la carretera C-28 de Vielha a Esterri d'Àneu, al nord de la rotonda d'accés al nucli. Inclou l'Avinguda Jaime Amiel Baró (part del Camin Reiau) que proporciona accés a les diferents finques.

El sector inclou la totalitat de les actuals Unitats d'Actuació UA2 i UA3 conformades per 12 parcel·les cadastrals de banda del propi vial comentat. Limita a l'est i al nord amb sòl no urbanitzable qualificat com a rústic ordinari, clau 7; al sud amb sòl de sistema viari aparcament i amb sòl no urbanitzable qualificat com a protecció especial, clau 8; a l'oest amb el sòl urbà del nucli de Gessa. Els terrenys objecte d'aquest projecte engloben un àmbit de sòl de 12.959,82 m² d'acord a l'aixecament topogràfic elaborat el 2020 per Mateos Topògrafs.



A continuació es mostren unes imatges on se situa el terreny objecte d'estudi.





3. ANTECEDENTS HISTÒRICS I TESTIMONIATGE

Atenent als registres de la Base de Dades d'Allaus de Catalunya (BDAC) de l'ICGC, s'ha observat activitat d'allaus a la zona GAR093 en 1 ocasió, amb escassa informació. Es desconeix la data de caiguda (només se sap que va ser durant la temporada 1994-95).

Taula . Esdeveniment observat a la zona d'allaus GAR093 (Font: BDAC).



INFORME DE OBSERVACIÓN DE ALUD	Valle: Garona	Código zona: GAR093	Temporada: 1994	Número: 01
--------------------------------	---------------	---------------------	-----------------	------------

DATOS DE LA OBSERVACIÓN

Se han tomado fotografías	?	Lugar de observación	Solan de Gessa	Fecha de observación (aaaa-mm-dd)	
Se ha observado la caída		Fuente de información	?	Medios de referenciación	?
Distancia zona de salida		Distancia zona de trayecto		Distancia zona de llegada	

DATOS DE CAÍDA DEL ALUD

Fecha (aaaa-mm-dd)		Hora (hh:mm)		Tipo de tiempo	
Temperatura del aire		Intensidad y dirección del viento	?	Dirección aproximada	?

DATOS DEL ALUD

Tipo de salida		Anc. salida	80,0	Anc. máx. bloq.	
Tipo de superficie de deslizamiento		Grosor cicatriz		Alt. máx. bloq.	
Humedad de la nieve		Longitud	275,0	Prof. máx. bloq.	
Desplazamiento de la nieve		Grosor depósito		Cota superior	1405
Tipo de depósito		Anc. depósito	65,0	Cota inferior	1250
				Desnivel	155

MORFOLOGÍA DEL ALUD

Zona de salida	Vessant obert	Perfil zona de salida	?	Orientación zona de salida	S
Zona de trayecto	Vessant obert	Pendiente zona de salida (°)		Orientación vertiente	S
Zona de llegada	Zona plana	Pendiente zona de trayecto (°)		Causas del origen del alud	?
Daños producidos	?	Otros daños			(no se sap l'origen)

En 28 anys l'allau ha baixat un cop (1994-95, no es coneixen esdeveniments anteriors), assimilable a un període de retorn de 30 anys. No va arribar a la zona d'estudi.

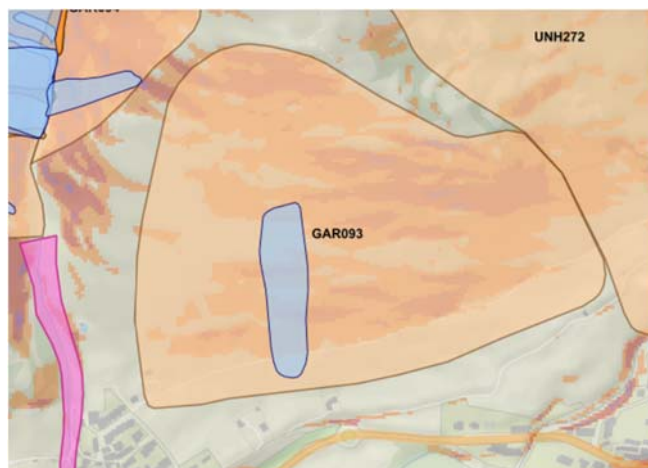
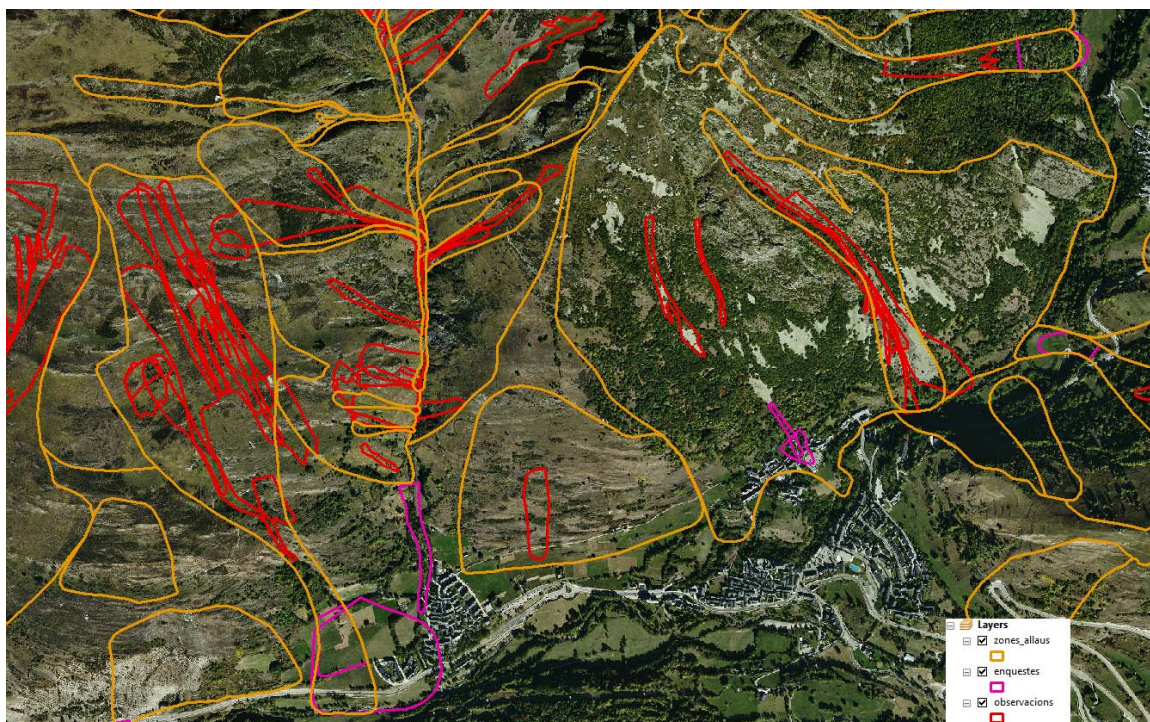


Figura . Perímetre de l'allau observada per seguiment hivernal (en blau) de la zona d'allau GAR093.(Font: BDAC de l'ICGC).



Es desconeix en quin episodi nivometeorològic s'inscriu l'allau observada. No es pot saber tampoc la tipologia i dinàmica (allau de neu seca o humida).

S'han buscat series nivometeorològiques que cobreixen la temporada 1994-95, per veure quines van se les precipitacions màximes mensuals i amb quines temperatures. De les diverses estacions consultades (Bonaigua, Vielha, Arties, Baqueira), cap d'elles conté dades de 1994-95.

4. ANÀLISI DELS PARÀMETRES NIVOMETEOROLÒGICS: DETERMINACIÓ DELS GRUIXOS DEL MANTELL NIVAL.

4.1. Introducció.

En el present capítol es calculen els valors nivològics a partir dels quals analitzar el risc d'allaus, mitjançant la modelització de la zona d'allau d'interès, GAR093 .

Per assolir aquesta fase es du a terme una exhaustiva recerca de fonts de dades nivometeorològiques i una anàlisi crítica de les dades, per obtenir finalment unes sèries fiables amb les quals calcular els períodes de retorn dels paràmetres nivològics i les correccions per cota altimètrica i per sobreacumulació a causa del transport de neu pel vent.

El primer pas ha estat cercar treballs sobre la climatologia i activitat d'allaus a l'Aran. El més especialitzat és l'informe publicat per l'ICGC "Projecte de regionalització nivoclimàtica: modelització

espacial de valors màxims de nevada al Pirineu” (ICGC, 2012). A banda d’oferir-se càlculs estadístics sobre períodes de retorn de nevades màximes, es proposen valors regionals per a punts sense dades. No obstant, els valors que hi apareixen han estat calculats amb una base de dades prèvia al 2012. Han passat pocs anys fins a l’actualitat, però es tracta d’uns hiverns amb forta significació climàtica, força més nivosos del que és habitual. Entre ells, cal destacar la temporada 2012-13 en què s’enregistra el valor màxim de la sèrie de gruix de neu al terra (403 cm) i de suma de neu recent (873 cm) a Bonaigua (2266 m). Al vessant francès, on hi ha registres més antics, l’acumulació de l’hivern 2012-2013 ha estat rècord des dels anys 60 (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/bilan-2013/l-enneigement-en-montagne-durant-l-hiver-2012-2013>). A més, durant els dos hiverns posteriors (2013-14 i 2014-15) s’ha superat el percentil 75 de gruix màxim de neu al terra a l’estació de Bonaigua. Per aquesta raó els períodes de retorn obtinguts en el present informe poden diferir dels existents fins l’actualitat en d’altres informes d’afectació per allaus a l’Aran.

Aquest fet és alhora un bon exemple de les incerteses que cal considerar a l’hora d’establir conclusions.

4.2. Règim nival.

La zona d’estudi es troba dins la Val d’Aran, única zona del Pirineu de Catalunya de domini climàtic oceànic. La principal característica és l’afectació freqüent de masses d’aire de procedència atlàntica, que es tradueix en nevades moderades i amb cert caràcter persistent degut a l’efecte de retenció orogràfica de fluxos de procedència nord i nord-oest. Un element rellevant per l’activitat d’allaus és el fet que els canvis de cota aigua-neu són habituals i accentuats, ja que els fronts càlids amb freqüència escombren la regió poc després del pas de fronts freds associats a depressions prèvies. Això provoca situacions de pluges fins a cotes relativament altes després de nevades amb neu seca i freda. Aquestes condicions afavoreixen l’activitat d’allaus de neu humida i de neu recent per nevades amb cota de neu ascendent.

La situació nivometeorològica de nevades intenses més típica i que propicia activitat d’allaus són les adveccions de NW i de N. Les primeres porten una massa d’aire polar marítima, aire fred i molt humit, amb nevades abundants i persistents. Les adveccions del N porten masses d’aire àrtiques, aire més fred que les anteriors i també són humides, encara que en menor grau. Totes dues són situacions desencadenants d’allaus amb efecte aerosol ja que la neu és seca i freda, amb nevades

amb temperatures al voltant o inferiors als -10°C . Depenent de la força del vent, poden arrencar com a allaus de placa.

Degut a les característiques topogràfiques i de recobriment herbaci de l'Aran, són freqüents les allaus de lliscament basal, especialment en orientacions assolellades, tant per condicions de neu freda i seca sobre terra calent (lliscaments freds), com per humidificació de tot el mantell fins a la base (lliscaments càlids).

Per caracteritzar el comportament del mantell nival cal atendre a tres paràmetres principalment: la precipitació, la temperatura i el vent. Pel que fa al règim de nevades, aquest és bastant regular al llarg de la temporada hivernal amb un màxim al gener, però amb possible activitat d'allaus per nevades intenses entre octubre i maig. La sèrie de dades nivometeorològiques en alta muntanya de major longitud de l'Aran és la de la Bonaigua (SMC) (Figura 1). La precipitació total en forma de neu a 2266 m (Bonaigua) oscil·la entre 400-900 cm a l'any, amb una mitjana anual de 548 cm. El gruix màxim de neu al terra oscil·la entre els 150-400 cm amb un gruix mig de 245 cm (sèrie de 24 anys).

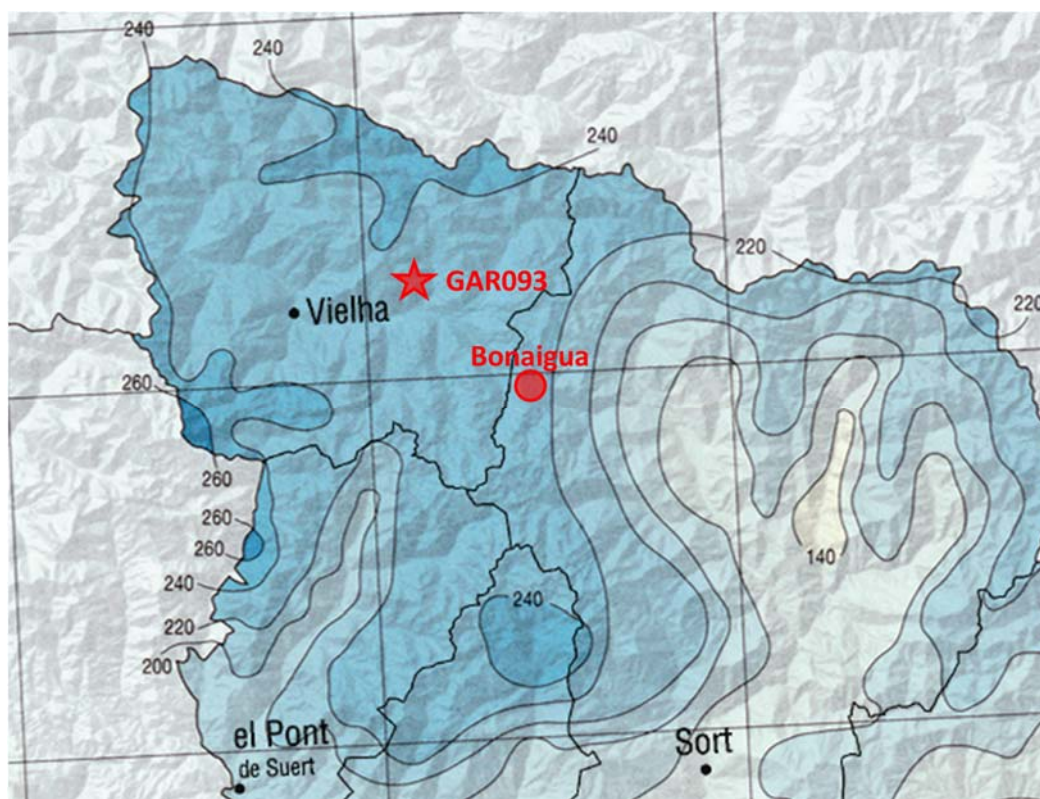


Figura . Distribució de la precipitació (mm) a l'hivern al sector d'estudi, localització de la zona d'allau GAR093 i de l'estació nivometeorològica automàtica amb dades de major durada (Bonaigua) (Modificat a partir de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya, ICGC i SMC).

Pel que fa a les temperatures, durant la temporada hivernal, compresa de novembre a abril, la temperatura mitjana mensual a l'estació de la Bonaigua (2266 m) es manté per sota dels 0°C, oscil·lant entre els -4°C del febrer-gener i els 0°C del mes d'abril. Els vents predominants són de component oest i nord, amb majors velocitats a l'extrem sud i sud-est.

El sector d'estudi, marge dret de la confluència entre l'Àrriu Unhòla i el riu Garona, es troba aproximadament al centre-est de l'Aran, a 10 km de l'estació de Bonaigua. Aquesta està situada al sud-est de l'Aran i és representativa del clima oceànic.

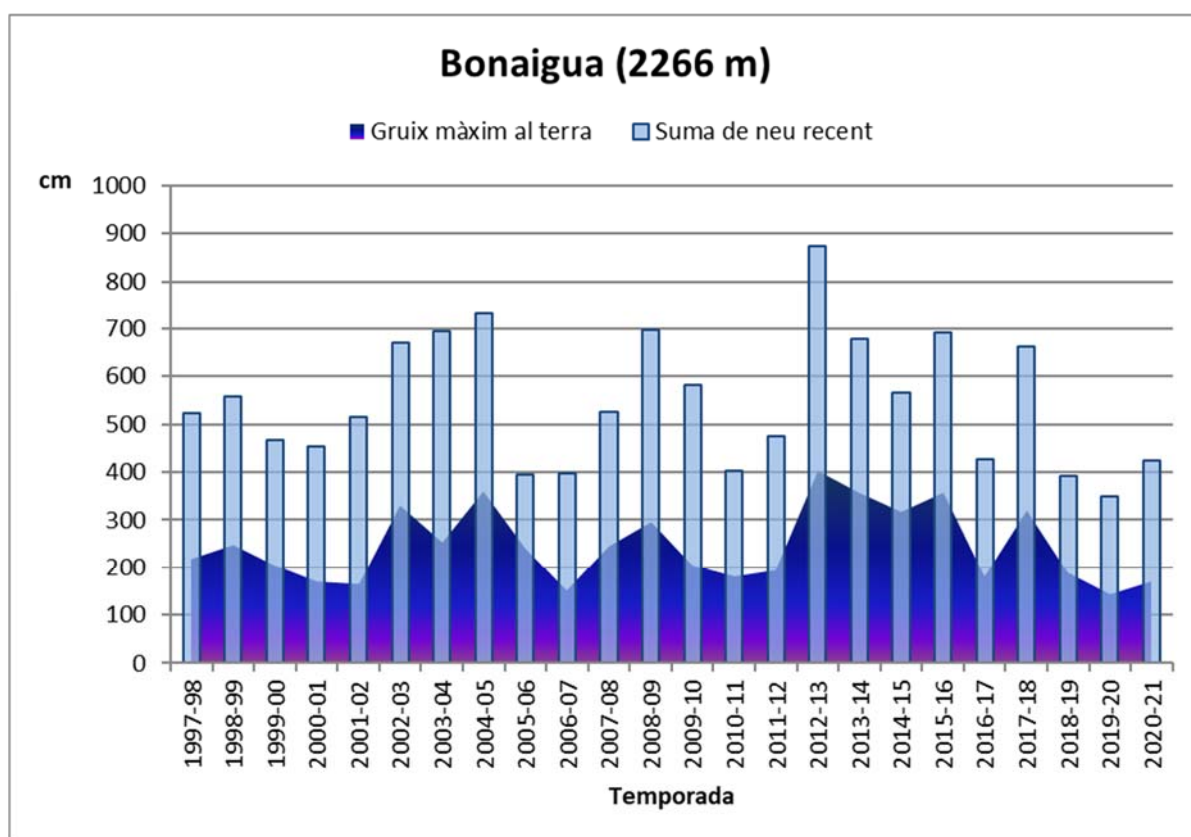


Figura . Evolució per temporada del gruix de neu màxim al terra i de la suma total de neu recent a la Bonaigua (2266 m).

4.3. Condicions locals.

La orientació és netament assolellada, sud. Les condicions topogràfiques de la zona d'allau d'estudi determinen unes condicions locals específiques sobre la dinàmica nival. La ubicació de la zona d'allau té implicacions respecte a l'acció de la radiació solar i del vent sobre el mantell.

Respecte a l'acció del vent, la topografia circumdant a la zona de sortida no és massa propícia per a la sobreacumulació de neu per efecte del vent del N i de l'W (habituals). No obstant, hi ha un relleu allomat per damunt del vessant objecte d'estudi que pot afavorir la seva deflació, i aquesta neu es

podria dipositar a la part alta del vessant. Per aquesta raó considerem fer un afegit de gruix de neu sobreacumulat pel vent al volum de neu esllavissable a l'hora de simular l'allau de referència. Segons recomanacions del SLF, aquest excedent serà de la part baixa dels llindars que proposen per a l'avaluació del gruix de neu sobreacumulat pel vent.

Pel que fa a la radiació solar, la zona d'allau objecte d'estudi es troba en un vessant assolellat. Aquesta orientació afavoreix l'assentament a curt termini de la neu recent després de nevades. Prèviament hi ha el procés de purga o desencadenament espontani donat l'adequat grau de pendent del sector. A mig i llarg termini, donada la baixa cota (1500 m) i orientació, la fusió del mantell és el procés dominant durant el període d'innivació, fins a la seva desaparició fins i tot durant els mesos d'hivern, tal com es dedueix de les informacions del Butlletí de Perill d'Allaus de l'ICGC on diàriament s'informa de la presència de neu per cota i orientació.

4.4. Bases de dades nivoclimàtiques

Del sector geogràfic on s'ubica la zona d'allau GAR093 es disposa de diverses series de dades nivològiques que contemplen diversos paràmetres nivològics, diferents longituds de sèrie i diferents cotes. S'han obtingut de diferents fonts. Són les següents:

Taula - Dades disponibles analitzades en l'estudi (HN24 i HN72, gruix de neu recent acumulat en 24 h i en 72 h respectivament; HS, gruix de neu màxim al terra; DH3dd, màxim gruix de neu esllavissable en 72 h; transport de neu pel vent, g/m²/s de neu transportada per cada direcció de vent). Les dades provenen de l'estació d'esquí Baqueira Beret, del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), del Consell General d'Aran (CGA) i de l'empresa IAV Engineering.

ESTACIÓ	TIPUS	PERÍODE	SERIE ANYS	PARÀMETRES	FONT
Baqueira 1500 m	M	98-99/09-10	12	HN24, HN72, HS	Est. Esquí BB
Baqueira 1800 m	M	77-78/09-10	33	HN24, HN72, HS	Est. Esquí BB
Baqueira 2500 m	M	97-98/08-09	12	HN24, HN72, HS	Est. Esquí BB
Bonaigua 2266 m	A	97-98/20-21	24	HN24, HN72, HS, DH3dd	SMC
Comalada 2100 m	A	03-04/16-17	14	HN24, HN72, HS, DH3dd	CGA

FC Comalada 2100 m	A	03-04/16-17	14	Transport neu per vent	IAV
Sasseuva 2228 m	A	02-03/20-21	19	HN24, HN72, HS, DH3dd	SMC

La sèrie de dades més llarga correspon a Baqueira 1800 m amb 33 anys. A l'hora d'efectuar anàlisis estadístiques i assumir resultats acceptables des d'un punt de vista científic, l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) estableix la longitud mínima de les sèries en 30 anys. Per tant, aquesta condició només es compleix en la sèrie de Baqueira 1800 m (Estació d'Esquí Baqueira-Beret). No obstant, si analitzem el percentatge de registres diaris de precipitació d'aquesta sèrie, observem que els volums anuals de dades per períodes hivernals amb prou feines arriben al 50% de dies amb registres. Es pot considerar convencionalment un mínim de 80% de dades diàries com a llindar a partir del qual efectuar un treball de reconstrucció de llacunes de dades, condició que no aconsegueix, per tant, la sèrie de dades de precipitació diària de Baqueira 1800 m.

La segona sèrie més llarga és la de l'estació automàtica de la Bonaigua 2266 m amb 24 anys, gestionada pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). La continuïtat diària de les dades d'hivern en aquesta sèrie és molt completa, propera al 100%. L'avantatge de treballar amb els registres d'una estació nivometeorològica automàtica és l'elevat mostreig de dades (registres minutals), a diferència d'una estació manual, com és la de Bonaigua 1800 m, que registra les dades només un cop al dia. A més, normalment als registres d'estacions manuals acostumen a mancar justament els registres extrems, degut a la impossibilitat de d'accedir-hi físicament per fer les observacions.

Taula - Valors de gruix màxim de neu al terra (HS), precipitació de neu recent màxima en 24 h (HN24) i gruix màxim de neu esllavissable (HD3dd) enregistrats a la Bonaigua (2266 m).

La Bonaigua (2266 m)	
1997-2021	
Gruix màxim neu al terra - HS	403 cm (12/02/2013)
Neu recent màxim 24 h - HN24	90 cm (18/02/2005)
Gruix màxim esllavissable 72 h – HD3dd	108 cm (30/01/2003)

Pel que fa a la Bonaigua (2266 m) la base de dades analitzada consta de 24 hiverns (1997-98 fins a 2020-21). S'ha treballat la precipitació de neu màxima en 24 hores; també s'ha calculat el sumatori de neu recent en 72 hores com a gruix de neu esllavissable (al qual s'aplica una taxa d'assentament en funció de la temperatura).

Donat que la cota mitjana de la zona de sortida de l'allau GAR093 es troba a uns 1500 m d'altitud, mentre que les dades de treball estan a 2260 m, ha calgut fer un ajustament per cota en l'anàlisi de les dades per qüestions de cotes d'aigua-neu durant la precipitació.

4.5. Anàlisi de les dades nivològiques

A continuació es llisten els màxims enregistrats a la Bonaigua en els darrers 24 hiverns fins la temporada 2020-21.

Taula - Sèrie nivometeorològica de l'estació automàtica de la Bonaigua (2266 m), període 1997-98 a 2020-21 (longitud, mitjana i desviació estàndard); dades en cm.

TEMPORADA	GRUIX MAX NEU AL TERRA (HS)	MAX 24 H (HN24)	MAX 72 H (HN72)	SUMA DE NEU RECENT
1997-98	218	37	64	522
1998-99	248	52	72	558
1999-00	203	76	82	466
2000-01	171	36	50	460
2001-02	163	41	50	516
2002-03	331	79	108	671
2003-04	251	49	79	694
2004-05	360	90	98	732
2005-06	238	46	59	396
2006-07	150	46	71	397

2007-08	245	40	78	526
2008-09	295	51	70	697
2009-10	205	37	53	582
2010-11	181	26	41	402
2011-12	193	40	57	475
2012-13	403	62	96	873
2013-14	358	39	52	679
2014-15	318	55	97	567
2015-16	182	25	34	387
2016-17	180	52	78	426
2017-18	319	33	57	663
2018-19	189	42	56	392
2019-20	143	26	45	348
2020-21	171	25	67	424
n	24	24	24	24
X	245	46	67	548
S	78	17	19	138

4.6. Anàlisis estadística d'extrems d'estacions properes.

Seguint les normatives emprades per diversos països alpins (RTM a França, SLF a Suïssa), s'han calculat els períodes de retorn de 5, 10, 50, 100 i 300 anys de gruix màxim de neu al terra, neu recent en 24 h i neu recent acumulat en 72 h de l'estació de Bonaigua, ajustats a la cota de 1500 m, corresponent a la zona de sortida de l'allau GAR093. Per obtenir l'assentament de la neu recent en 72 h apliquem la taxa de 0,70 (assentament del 30%).

No es calcula el gruix màxim de neu al terra, perquè es considera que la cota i orientació del vessant d'estudi impedeixen la presència d'un mantell estacional continu al llarg de la temporada. La problemàtica d'allaus vindrà associada al volums de neu recent acumulats en 72 h associats a grans episodis de nevades a cotes baixes.

Per al càlcul dels períodes de retorn s'ha utilitzat la llei de Gumbell. Primer s'ha sotmès la base de dades per a cada paràmetre al test de Kolmogorov-Smirnov per comprovar l'ajustament de la distribució observada a la teòrica (nivell de confiança 95%, valor crític $\alpha=0.05$).

L'ajustament de la precipitació de neu a 1500 m a partir de les dades de la Bonaigua (2260 m) s'ha obtingut de la següent manera. S'han seleccionat els dies amb precipitació a Bonaigua amb la condició que la temperatura màxima a 1500 m fos igual o inferior a 0°C, aplicant el gradient altitudinal de temperatura d'un descens de 0,65°C/100 m.

4.6.1 Neu recent màxima en 24 h (HN24) a 1500 m.

L'anàlisi del període de 24 anys dona com a resultat una quantitat de 79 cm per a un període de retorn (T) de 100 anys a 1500 m.

Taula - Càlcul de períodes de retorn de neu recent màxima en 24 h (longitud, mitjana i desviació estàndard de la sèrie) a 1500 m.

Neu recent màxima en 24 h (HN24), 1500 m	
Període de retorn (T)	Funció de Gumbel
5 anys	46 cm
10 anys	54 cm
50 anys	72 cm
100 anys	79 cm
300 anys	91 cm

n	24
X	35
S	14

4.6.2 Neu recent màxima en 72 h (HN72) a 1500 m.

Per a la cota 1500 m, per a un període de retorn de 100 anys cal esperar un gruix màxim de neu recent acumulat en 72 h de 127 cm.

Taula 5.- Càlcul de períodes de retorn del gruix de neu recent acumulat en 72 h (longitud, mitjana i desviació estàndard de la sèrie) a 1500 m.

Gruix de neu 72 h (HN72), 1500 m	
Període de retorn (T)	Funció de Gumbel
5 anys	67 cm
10 anys	82 cm
50 anys	114 cm
100 anys	127 cm
300 anys	148 cm

n	24
X	50
S	25

4.7. Correccions per condicions locals

Per calcular el gruix mig de neu de sortida (d_0) segons la formulació: $d_0 = (d^*_0 + h_v) * f(\psi)$ (SLF, 2005) cal determinar diverses variables prèvies:

$$d^*_0 = ((HN72 * \alpha) + \Delta HN_m) * \cos 28^\circ + h_v$$

on α és un factor de correcció de l'assentament de la neu caiguda durant 3 jornades. Oscil·la entre 15% i 30% depenent de la temperatura i del tipus de partícula de precipitació (Schaerer et McClung, 2006). En el present informe, li hem atribuït un valor d'assentament del 30%, donada la baixa cota i orientació S. La variació de gruix per l'alçada ΔHN_m ja s'ha incorporat en el càlcul dels paràmetres nivològics per GAR093, a partir del gradient altitudinal de la temperatura (com s'ha explicat

anteriorment); no obstant, finalment s'afegeix 1 cm donat que aritmèticament la cota mitja de la zona de sortida és de 1513 m

Un cop calculat d^*_0 s'ha de sumar un factor d'increment per efecte del vent en cas de ser una zona de sortida d'allau afectada per sobreacumulacions (h_v). Seguint les indicacions del SLF per a la generació dels paràmetres a introduir en la modelització RAMMS, li hem atribuït 20 cm per a un episodi de nevada de 72 h..

5. ESTUDI DE CAMP: DESCRIPCIÓ GEOMÈTRICA I MORFOLÒGICA DEL VESSANT

En aquest punt s'analitzen tots aquells elements morfològics que descriuen el vessant, a partir del punt on considerem que es pot iniciar una allau. Els elements analitzats són: altitud, pendent, morfologia, orientació i rugositat-coberta vegetal. Aquests factors donen una idea inicial sobre la susceptibilitat de la zona a produir episodis allavosos.

5.1 ELEMENTS CARACTERÍSTICS.

5.1.1 Altitud

El vessant objecte d'estudi s'estén entre 1560 msnm al punt més alt de la zona de sortida i 1230 msnm al fons de la vall. El recorregut entre ambdós punts és d'uns 580 m en planta m amb un desnivell de 330 m. A continuació es mostra el model digital del terreny amb una llegenda de colors per cotes.

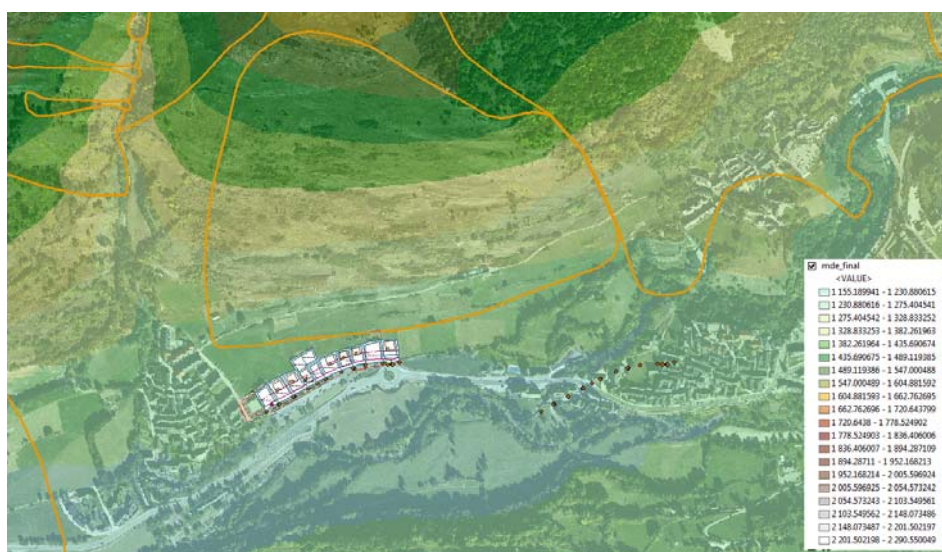


Figura : Mapa altimètric del sector vessant.

5.1.2 Pendants

El perfil del pendent és molt heterogeni. La zona de sortida potencial presenta pendents d'entre 28°-45°, però a partir d'aquest punt el pendent és esglaonat, amb continus canvis de pendents. Per tant, el desencadenament d'allaus podria ser freqüent, fet que evita l'acumulació de gruixos potents de neu, al purgar-se amb certa periodicitat. Tota la zona de trajecte majoritàriament té pendents superiors als 28°, fet que mantindria l'allau en moviment fins el que considerem la zona d'arribada. A la part del peu del vessant a uns 90 metres en planta de les parcel·les objecte d'estudi el vessant perd pendent per sota de 28° definitivament i s'inicia el sector on l'allau començaria a perdre velocitat i acabaria aturant-se.

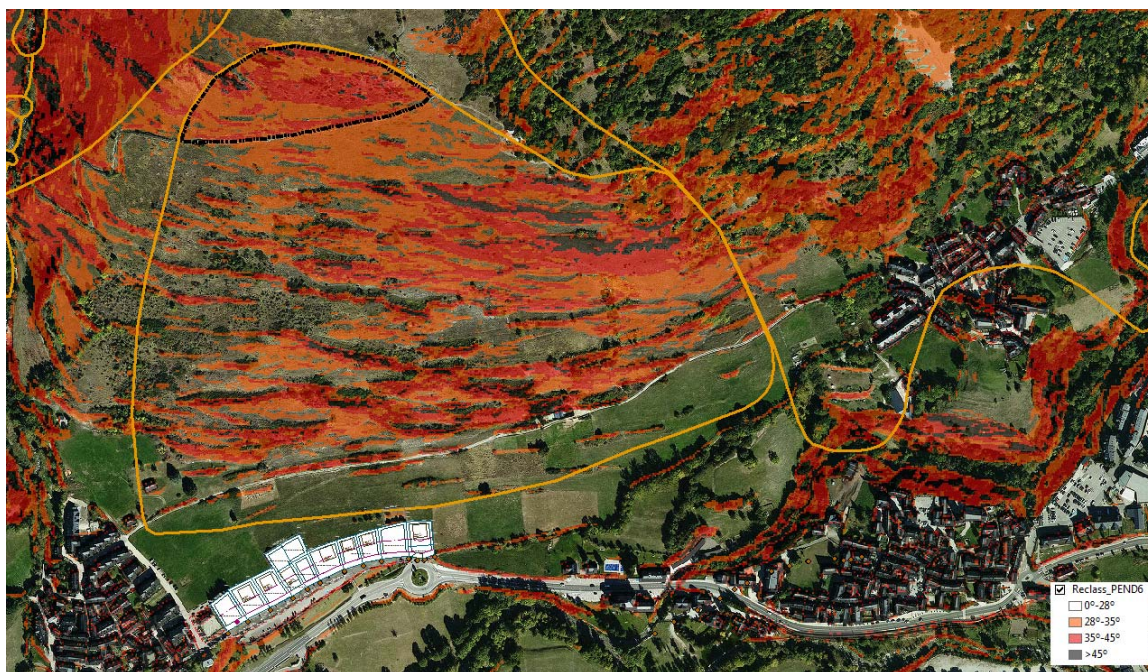


Figura : Mapa de pendents del sector vessant objecte d'estudi.

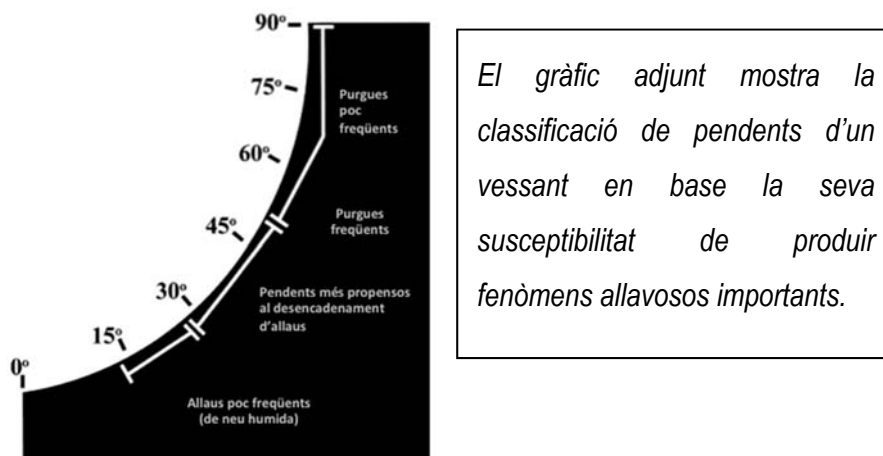
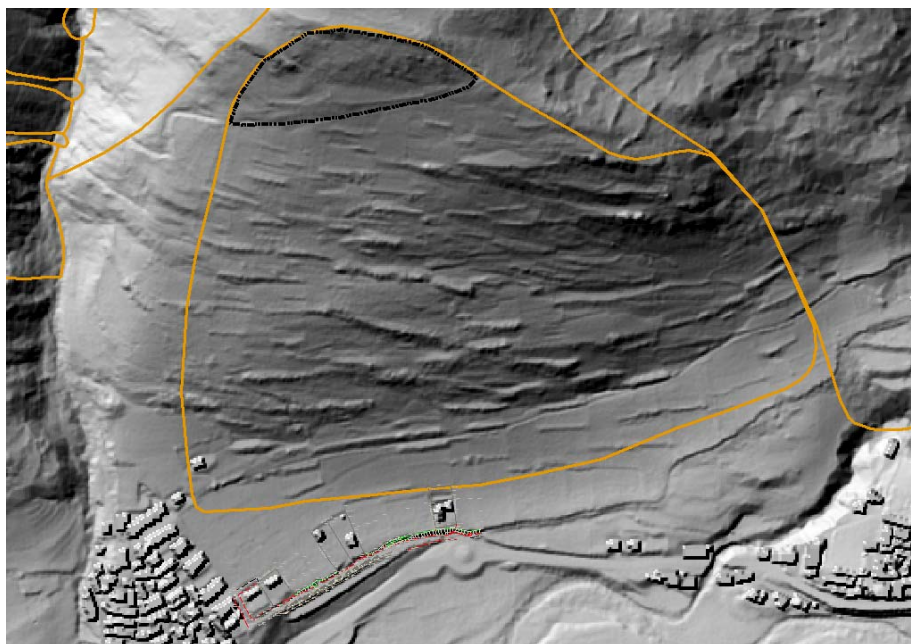


Figura : Dinàmica de les allaus en funció del pendent

5.1.3 Morfologia

El vessant presenta una morfologia poc característica de zones d'acumulació de neu. Es tracta d'un vessant divergent en el qual el flux no es concentra ni convergeix en un punt baix sinó que des dels punts de sortida de capçalera, tendeix a obrir-se fent que flux no convergeix en tota la superfície del vessant. La morfologia de la zona d'arribada no presenta una forma de clàssic con de dejecció, com acostumar a ser habitual, finalitzant en una clara zona de pèrdua de pendent formada per pastures a tocar de les unitats UA2 i UA3.



5.1.4 Orientació.

La zona d'estudi presenta una orientació assolellada durant gran part del dia, ja que la zona de sortida està orientada a SUD en la seva totalitat. Respecte al seu efecte sobre el mantell nival, a mig termini, aquesta orientació tendeix a una estabilització de la base del mantell, ja que evita la formació de capes febles internes. No obstant, en cas d'una nevada molt intensa seguida d'una forta pujada de temperatura i radiació solar podria generar un escenari perillós. Aquest escenari és el que es modelitzarà en l'apartat corresponent.

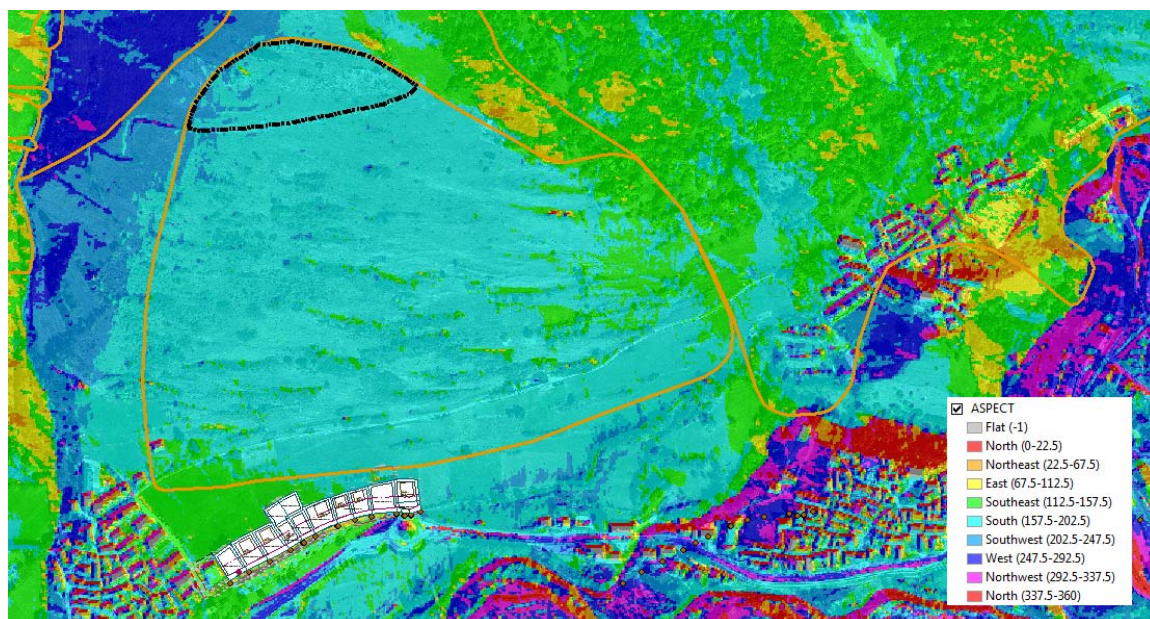


Figura : Mapa d'orientacions del sector del vessant.

Durant la primavera aquesta orientació solana afavoreix la inestabilització superficial del mantell degut a la fusió per la intensitat de la radiació solar. En aquest cas es tractaria d'allaus de mida petita o mitjana.

5.1.5 Cobertura vegetal

El vessant objecte d'estudi està format per prats i herbassar (zona de sortida potencial) alternant zones (sobretot part intermèdia del vessant) amb matollars. La part baixa del vessant i zona d'aturada de l'allau està formada per prats herbacis.

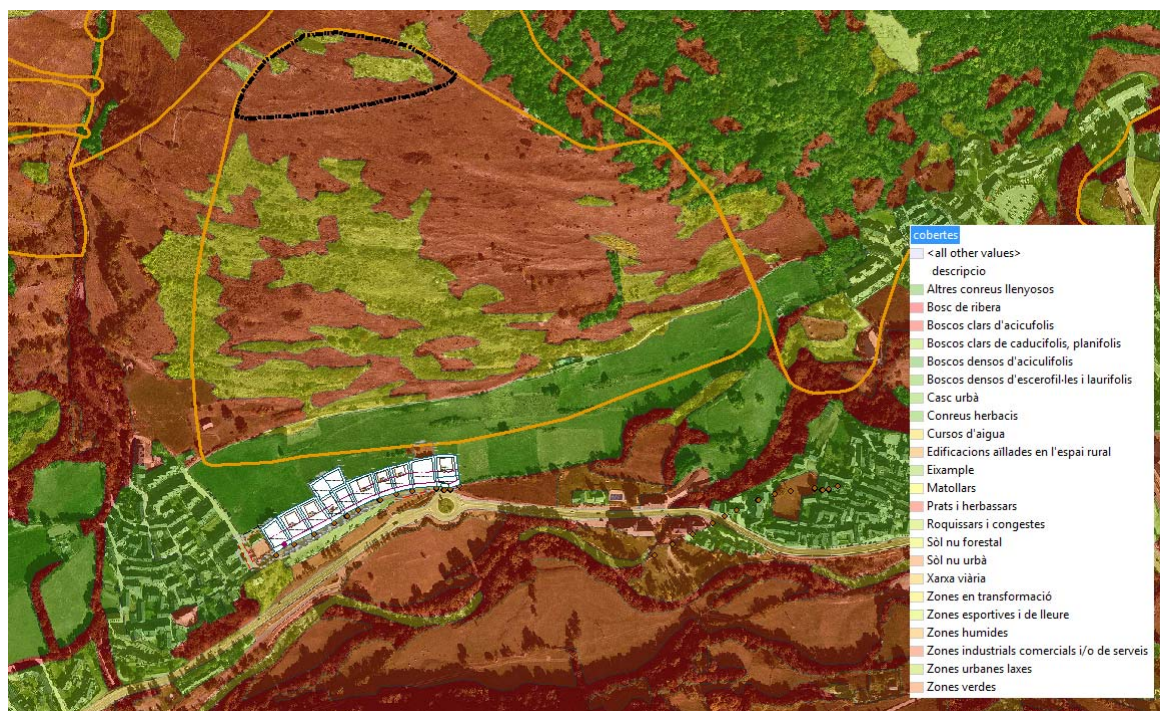


Figura : Tipologia de vegetació i de recobriment del sòl al sector del vessant

6. ANÀLISI MORFOLÒGICA DE LA DINÀMICA DE L'ALLAU

En aquest punt i en base a l'anàlisi de la fotointerpretació, de la inspecció de camp i dels mapes geomorfològics 3d, s'ha proposat 1 polígon/zona de sortida. Posteriorment, aplicant el model numèric RAMMS (Rapid Mass Movement) de la SLF/WSL a les zones de sortida definides, s'ha realitzat la respectiva simulació que ens ha ajudat a determinar la trajectòria de l'allau, així com l'abast. Tots aquest aspectes s'explicaran en detall dins de l'apartat 7 (Model Numèric) del present document.

6.1 INVENTARI DE ZONES

Es modelitza la potencial zona de sortida de major dimensió, S1 d'una superfície total de 26368,5 m², una inclinació mitja de 34.93 ° i una altitud mitja de 1513.11 msnm. A continuació es mostra una imatge amb les seves característiques.

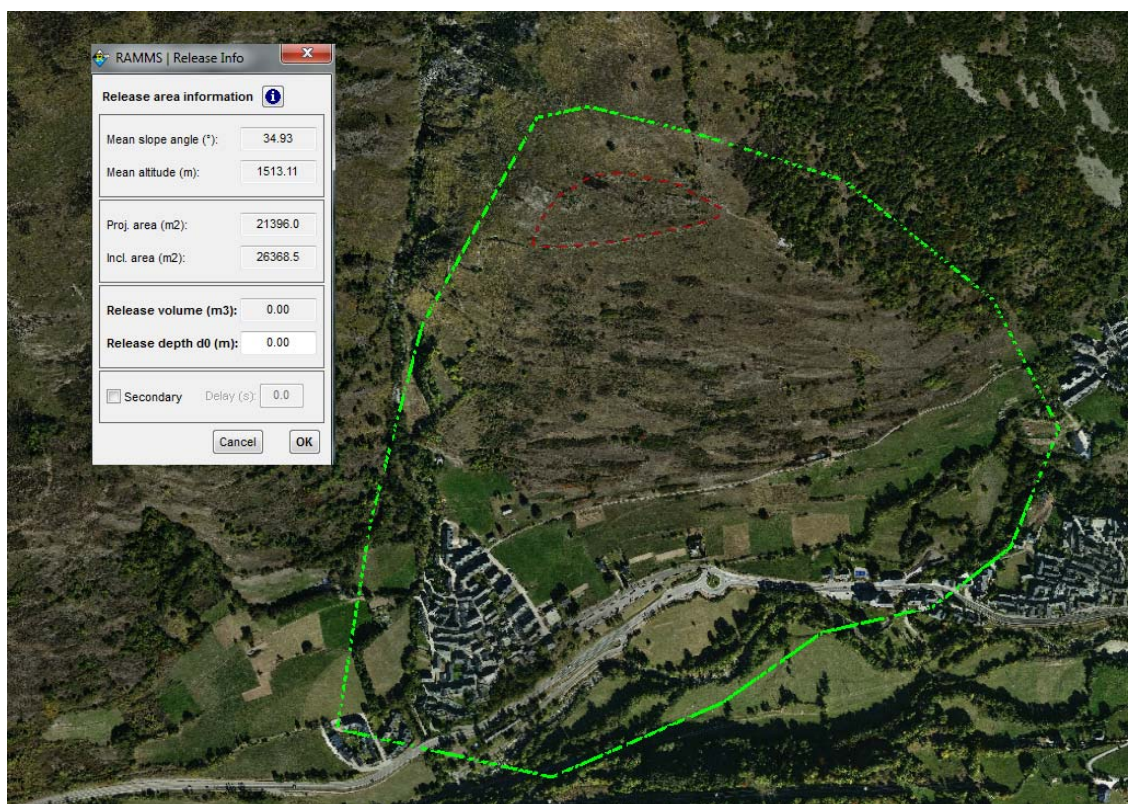


Figura: Característiques de la zona de sortida S1.

7. MODEL NUMÈRIC

7.1. INTRODUCCIÓ.

Una vegada descrites totes les característiques que defineixen el vessant objecte d'estudi es proposa realitzar les simulacions mitjançant el **model numèric RAMMS (Rapid Mass Movement)** desenvolupat per la WSL/SLF Suïssa.

El mòdul de càlcul RAMMS es va dissenyar per realitzar simulacions sobre la propagació d'allaus en terrenys muntanyosos, i actualment ha esdevingut una eina molt utilitzada a Suïssa per a la determinació del risc d'allaus.

El mòdul RAMMS s'ha desenvolupat seguint una metodologia d'entrada i sortida de dades molt amigable i optimitzada, la qual cosa permet als especialistes modificar fàcilment les hipòtesis de càlcul i risc.

El nucli del programa es tracta d'una solució numèrica de segon ordre, la qual ens **permet el càlcul de velocitats i alçades del flux de neu** sobre uns models digitals del terreny en 3 dimensions creats amb anterioritat a partir de sistemes d'informació geogràfica com ara ArcGis.

El model encara es basa en les equacions de Voellmy, molt utilitzades en la pràctica de l'enginyeria de la neu a Suïssa. Per calibrar el model de Voellmy utilitzat en el software RAMMS, s'han emprat les dades de camp de proves a escala real al Vallée de la Sionne. S'han introduït en el model certes funcions específiques com ara les característiques de la vegetació, rugositat superficial, el flux en zones boscoses, entre d'altres. Aquesta extensa calibració del model i els paràmetres utilitzats estan disponibles pels usuaris i s'adjuntaran en l'apartat de les simulacions.

Una vegada realitzades les diferents simulacions, se n'obtidran els respectius mapes de velocitats de propagació, alçada de flux i conseqüentment les pressions màximes de propagació en kPa.

Serà aquest últim factor el que s'analitzarà amb més detall i es compararà amb els criteris proposats pel projecte "Guide méthodologique d'élaboration des PPR avalanches". Aquests apareixen resumits en el quadre següent; els valors de pressió que defineixen la intensitat de l'allau estan extrets dels valors utilitzats tant a França com a Suïssa. Aquests mateixos valors són els que també s'han utilitzat com a criteris de partida en la zonificació reglamentària de la perillositat d'allaus a Andorra, aprovada per Govern en data Març del 2016.

Taula : Criteris de qualificació de la perillositat proposats pel projecte "Guide méthodologique d'élaboration des PPR avalanches, France".

Perillositat de referència Intensitat	Perillositat de referència centenària	Perillositat màxima versemblant (AMV)
$P \geq 30 \text{ kPa}$	Alta	AMV
$1 \text{ kPa} < P < 30 \text{ kPa}$	Mitjana	
$P < 1 \text{ kPa}$, baixa o no quantificable	Baixa	
<i>P : pressió dinàmica exercida per l'allau de referència</i>		

7.2. PUNT DE SORTIDA I CONDICIONS DE CONTORN EN LA SITUACIÓ ACTUAL.

Es realitza una simulació de desencadenament d'allau en el vessant amb les característiques físiques de la neu constants (densitats i cohesions).

A partir dels càlculs de paràmetres nivològics calculats per a GAR093 (1500 m) en base a les dades de la Bonaigua (2266 m), dels ajustaments per cota altitudinal i de la taxa de transport de neu pel vent, generem el valor de d_0 per a GAR093, pel període de retorn de 100 anys. El càlcul es fa seguint la metodologia del SLF: $d_0 = (d^*_0 + h_v) * f(\psi)$ (SLF, 2005), on cal determinar diverses variables prèvies:

$$d^*_0 = ((HN72 * \alpha) + \Delta HN_m) * \cos 28^\circ$$

on α és un factor de correcció de l'assentament de la neu caiguda durant 3 jornades. Oscil·la entre 15% i 30% depenent de la temperatura i del tipus de partícula de precipitació (Schaerer et McClung, 2006).

Com justificàvem anteriorment, apliquem el criteri de màxim gruix esllavissable en 3 dies (Barbolini et al, 2005), com a diferència de gruix de neu al terra, ja que s'incorpora l'assentament real del mantell. Per tant:

$$d^*_0 = (dHS3d + \Delta HN_m) * \cos 28^\circ$$

La formulació inclou les correccions de gruix per cota, efecte del vent i condicions topogràfiques de la zona de sortida.

Taules: Recomanacions del SLF per al càlcul de gruix de neu a la zona de sortida.

Fracture depths d0: for release area at 2500 m, for T=300y, exmalle Switzerland
 Davos region: Simplon, very snow rich area

	300 y		300 y
dHS(3d) Davos Dorf 1560 m	1.45 m	dHS(3d) Simplon Dorf 1470 m	2.25 m
Release area at 2500 m	+ 5 cm / 100 m	Release area at 2500 m	+ 5 cm/100 m
Cos 28°	x 0.88	Cos 28°	x 0.88
Wind	+ 30 cm	Wind	+ 30 cm
d0	30° (x 0.9) 1.80 m	d0	30° (x 0.9) 2.40 m
f(slope angle)	35° (x 0.71) 1.42 m	f(slope angle)	35° (x 0.71) 1.92 m
	40° (x 0.6) 1.20 m		40° (x 0.6) 1.62 m
	45° (x 0.52) 1.04 m		45° (x 0.52) 1.40 m

d0: examples for different return periods
 1) Switzerland:

Fracture depth d0	T=10y	T=30y	T=100y	T=300y
d0: typical value for starting zone at 2500 m, 35°	0.80 m	1.00 m	1.20 m	1.35 m
d0: for snow rich area, starting zone at 2500 m, 35°	1.10 m	1.40 m	1.70 m	1.85 m

Relation between different fracture depth:
 d0 300 / d0 30 = ca. 1.4

2) General remarks:

- Elevation correction: not e.g. from 1400 m to 3500 m
- Recommendation: d0 calculated from 2 base values
- Recommendation (for >35°): d0 < 2 m (T=300y)

WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF

WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF

AVAL-1D: Calculation steps for dense flow avalanches

The most important steps calculating a dense flow avalanche:

1 Specify the topography

- 1.1 80 – 220m real distance rule
- 1.2 20m altitude-difference rule in the runout zone
- 1.3 Take sudden terrain changes into account
- 1.4 See Help menu for calculation of gullies (Help → News → Dense flow avalanche → V-shaped cross section, more realistic flow heights for gullies!)

2 Specify the avalanche width

Take care that the avalanche width within the runout zone doesn't increase noticeably.

3 Determination of release depth d_0

- 3.1 Choose d_0^*
- 3.2 Altitude-correction $\pm 5\text{ cm} / 100\text{m}$ (base: 2000m a.s.l.)
- 3.3 Determination of mean release zone slope angle
- 3.4 Slope angle correction $f(\psi)$

4 Friction parameters μ and ξ

- 4.1 Specify return period (30 or 300 years)
- 4.2 Choose track style (unchannelled, channelled or gully)
- 4.3 Choose μ and ξ (see table on the back...): **IMPORTANT:** AVAL-1D provides a proposal for μ and ξ . Click Use SLF proposal to accept this proposal, see dialogue window on the back.

5 Specify calculation parameters

Normally these parameters do not have to be changed.

6 Calculation and plausibility check of simulation results

- 6.1 Choose a new name for each calculation. AVAL-1D saves automatically an input file with the same name.
- 6.2 Are the simulation results realistic?
- 6.3 Do sensitivity studies.

1 Specify the topography

Rules for specifying a topography:

1. The 'real' distance between two topography points should be between 80 and 220m.
2. Runout zone: The difference in altitude between two topography points should not be less than 20m, as long as rule 1 is not broken (10m altitude difference only if slope angle less than 5°).
3. In case of a sudden change from acceleration zone to horizontal runout zone (0°) smaller distances can be specified in order to more accurately model the real topography.
4. Taking into consideration rules 1-3, try to accurately model the characteristics of the real topography.

Using rules 1-4 the topography will be slightly smoothed. This smoothness is necessary because snow will fill unevenness in the topography and - especially with large avalanches - because small bumps will have no big influence on an avalanche. The Fc-1D model is very sensitive to slight changes in the slope angle. Many changes in slope angle will slow down the avalanche more than with a mean slope angle. This is the reason why minimum distances have been introduced.

2 Specify the avalanche width

The avalanche width has to be guessed from cadastre information and field visits. Furthermore, take care that the avalanche width within the runout zone doesn't increase noticeably, even if the observed avalanche did. This conservative rule increases the runout length and thus the security. The analytical Voellmy-Salm-model uses the same principle; the width B_p at Point P is decisive for the runout length.

3 Determination of release depth d_0

The release area is given by a slope angle area between 30° (28°) and 50°. The mean release depth d_0 perpendicular to the slope is calculated from:

$$d_0 = d_0^* \cdot f(\psi)$$

where:

d_0^* : Base value, influenced by climatic conditions (possible new snow height within 3 days) and return period T. These values are valid for altitudes of 2000 m.a.s.l. and slope angles of 28°. Increase or decrease this values by 5cm/100 m for higher (+) or lower (-) regions. If there are regions (within the release area) with wind drift then d_0^* has to be increased there by 0.3 to 0.5m. The final d_0^* is the mean value over the whole release area.

$f(\psi)$: Slope angle factor, given by snow stability (increasing d_0^* with increasing stability), see table on the right.

4 Friction parameters μ and ξ

The factor turbulent friction ξ depends mostly on the geometry of the acceleration zone (roughness, confinement, trees). Large avalanches can smooth moderate roughnesses. Therefore use the maximum value of ξ , if you're not sure.

The friction coefficient μ depends on the snow characteristics (temperature, density, water content), but also on the avalanche pressure perpendicular to the ground and on the velocity (decrease with increasing velocity).

4.1 Specify return period (30 or 300 years)

Contrary to the analytical Voellmy-Salm model, the friction parameters of the Fc-1D model are varied due to the return period. The reason for this change is that for a return period of 30-years not only a smaller fracture depth should be applied but also different snow conditions.

Table: Slope angle factors $f(\psi)$

ψ [°]	$f(\psi)$	ψ [°]	$f(\psi)$
28	1.0	39	0.62
28.5	0.97	39.5	0.61
29	0.94	40	0.60
29.5	0.92	40.5	0.59
30	0.90	41	0.58
30.5	0.87	41.5	0.57
31	0.85	42	0.56
31.5	0.83	42.5	0.55
32	0.81	43	0.54
32.5	0.79	43.5	0.54
33	0.78	44	0.53
33.5	0.76	44.5	0.52
34	0.74	45	0.52
34.5	0.73	45.5	0.51
35	0.71	46	0.50
35.5	0.70	46.5	0.50
36	0.69	47	0.49
36.5	0.67	47.5	0.48
37	0.66	48	0.48
37.5	0.65	48.5	0.47
38	0.64	49	0.47
38.5	0.63	49.5	0.46
39	0.62	50	0.46

4.2 Choose track style (unchannelled, channelled or gully)

Category	Definition
unchannelled	Curvature of course line > 90
channelled	Curvature of course line < 90 & Flow width/Flow depth > 3/1
gully	Curvature of course line < 60 & Flow width/Flow depth < 3/1, very high roughness (Order of magnitude 1m)

See Help menu for calculation of gullies (Help → News → Dense flow avalanche → V-shaped cross section, more realistic flow heights for gullies!)

Les condicions de contorn seran les següents:

- 1- Densitat de la neu: 350 Kg/m³.
- 2- Cohesió: 150 Pa.
- 3- Influència del bosc: No influeix.
- 4- Criteri de parada: Momentum 5 %.
- 5- Potència de neu (H): Gruix esllavissable en 3 dies (dHS3d) a T=100 anys corregit per alçada i angle mig segons recomanacions SLF.
- 6- Volum total simulat: 18457.98 m³

Taula . Càlcul de gruixos mitjos de sortida per a un període de retorn de 100 anys per a GAR093.

ZONA	NH 72 h amb assentament de 30%	Correcció altitudinal (Ca)	Acumulació pel vent (h _v)	Pendent mig (ψ)	Factor de l'angle f(ψ)	d ₀ (cm)
GAR093	89 cm	1 cm	20 cm	34,9°	0,71	70

8. ANÀLISI CINEMÀTICA DE L'ALLAU SIMULADA T=100 ANYS

En aquest punt analitzarem les incidències de l'allau simulada en termes d'alçades de neu, velocitats i pressions d'impacte, al llarg del seu recorregut.

8.1 SIMULACIONS S1

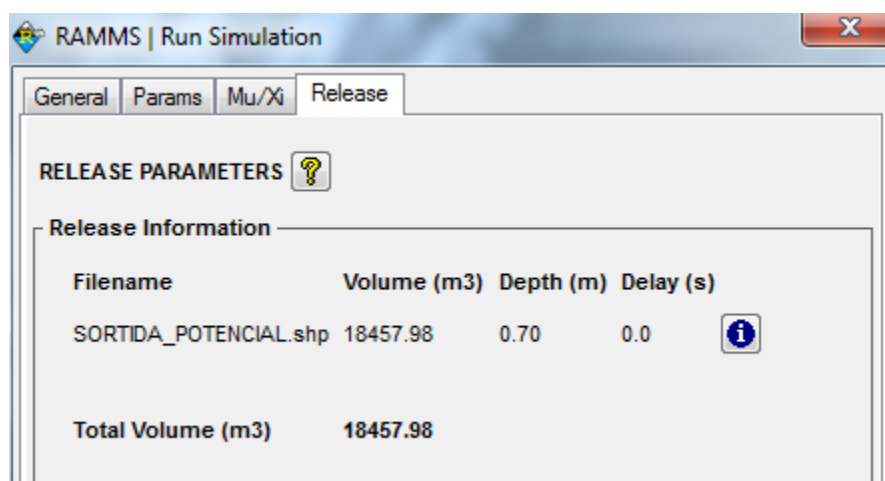
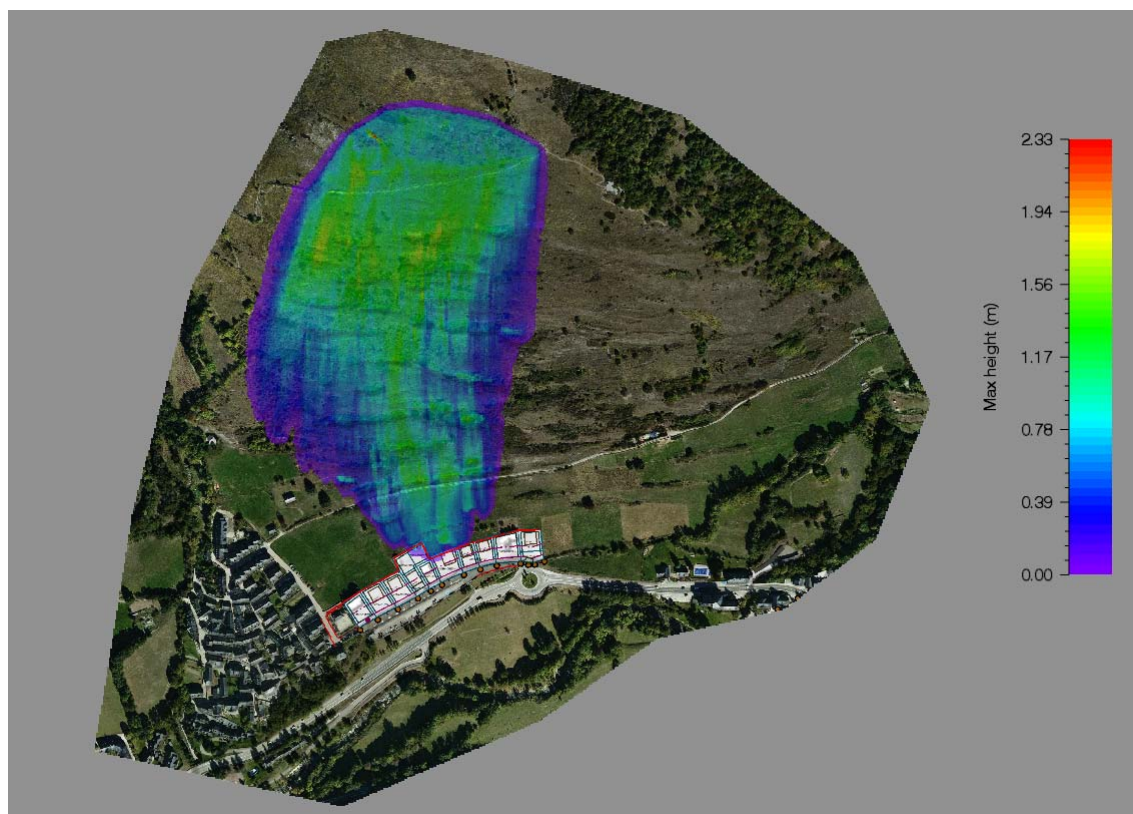


Figura : Dades per la simulació de la zona de sortida S1.

8.1.1 ALÇADES DE NEU (m)



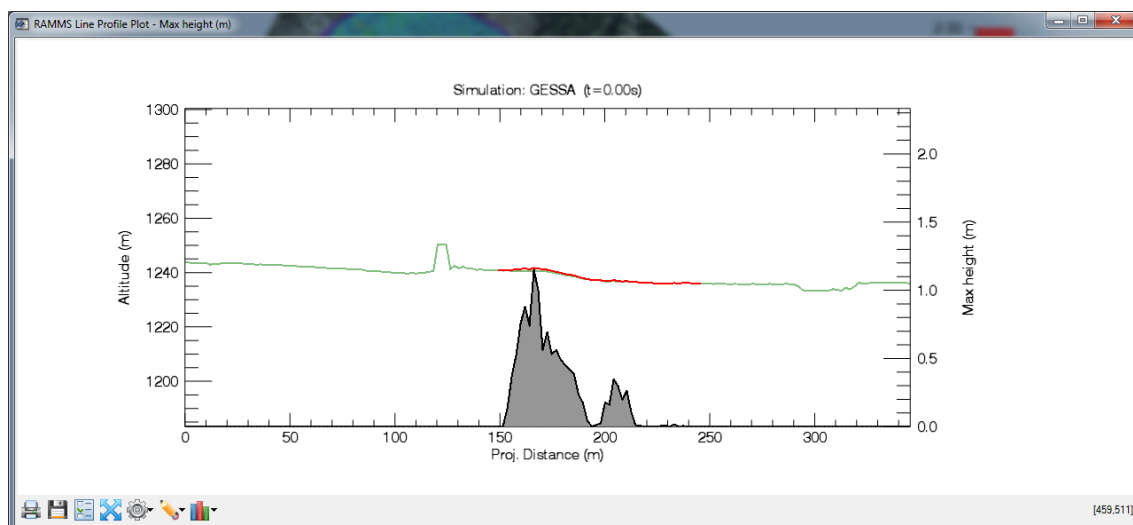
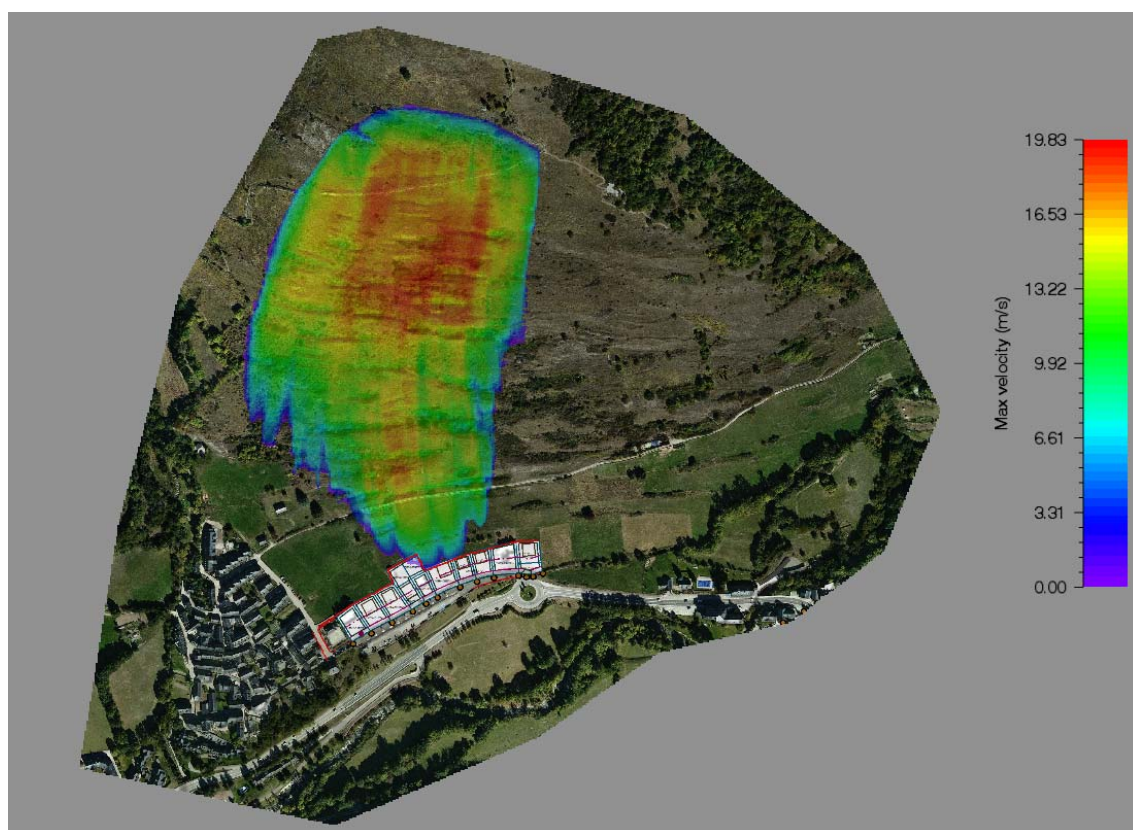


Figura : Modelització del gruix de neu del flux de l'allau.

8.1.2 VELOCITATS (m/s)



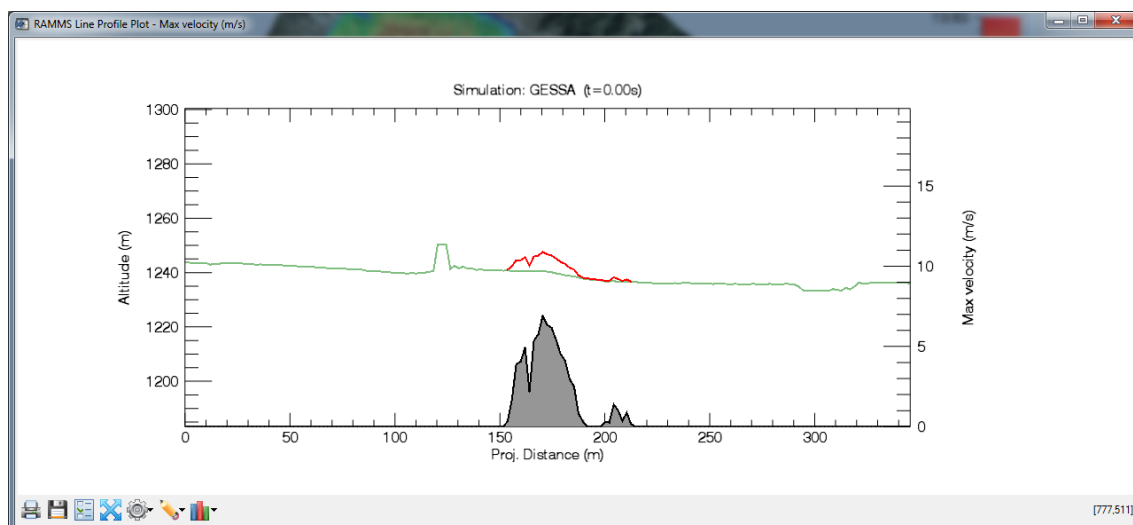
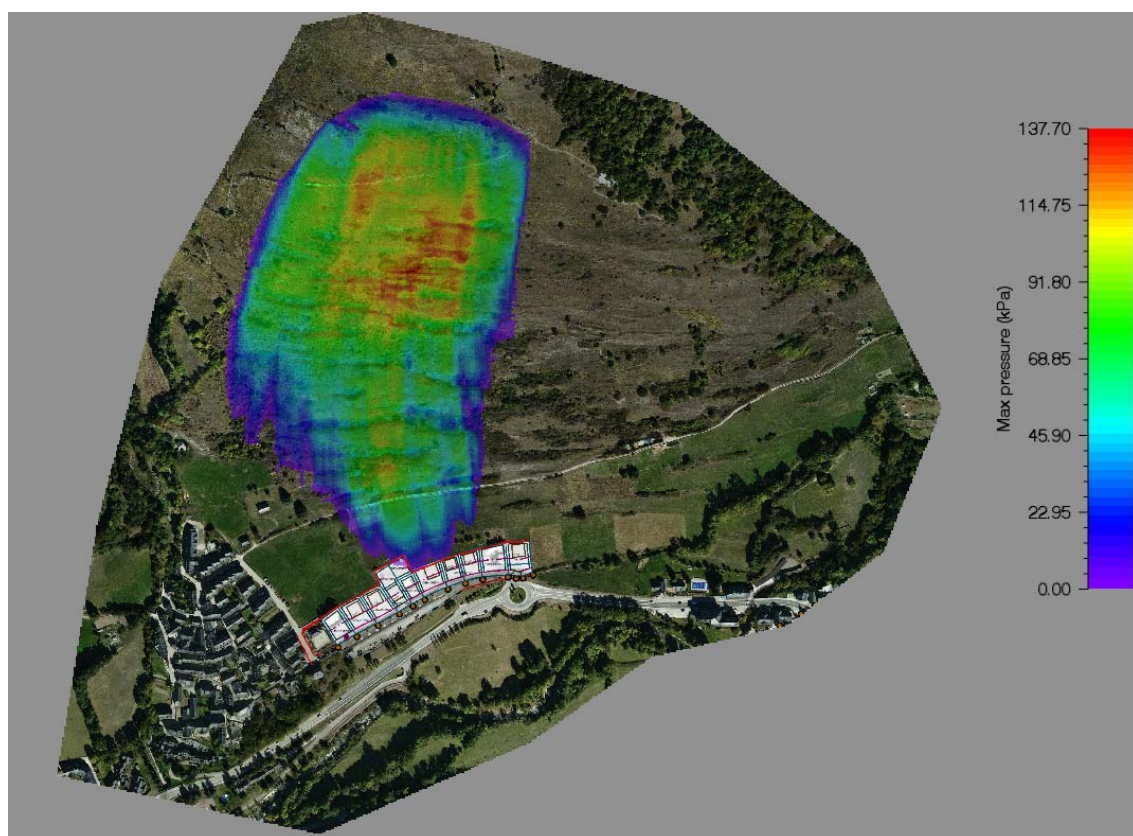
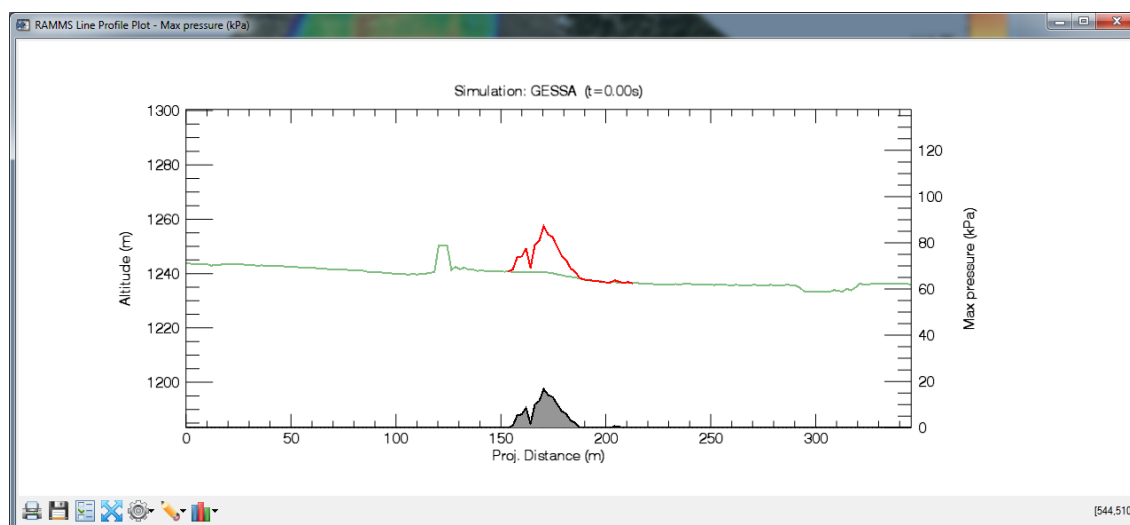
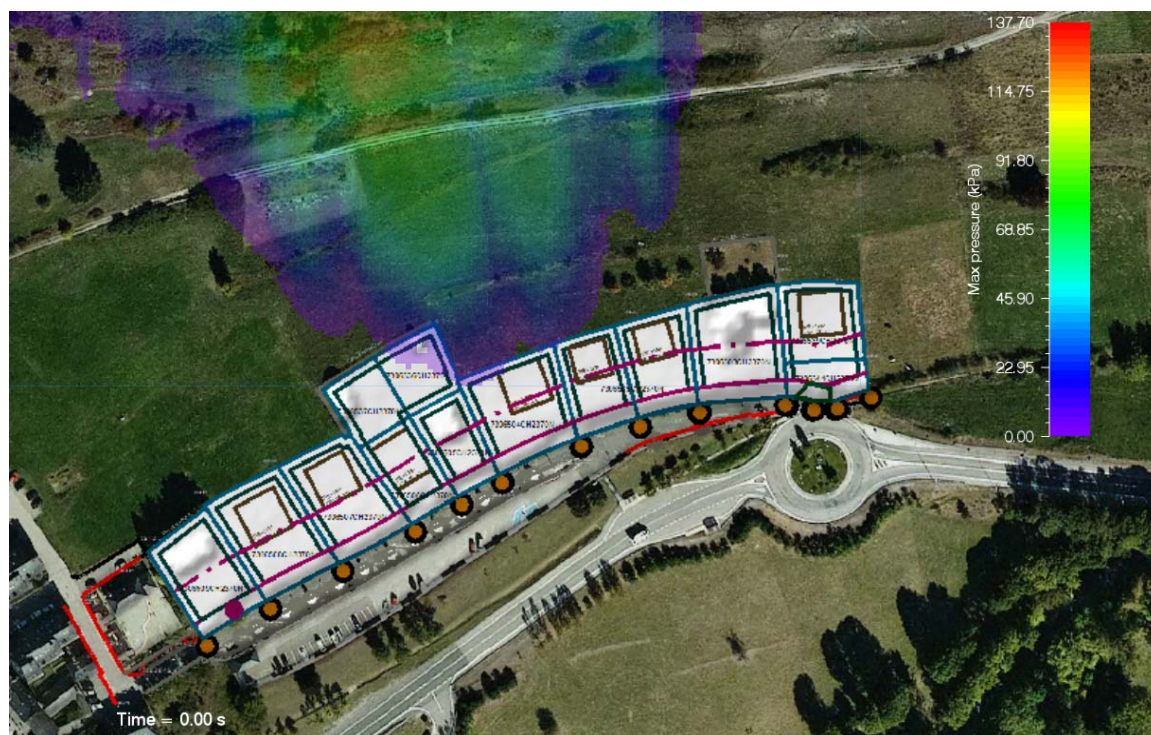


Figura : Modelització de la velocitat del flux de neu.

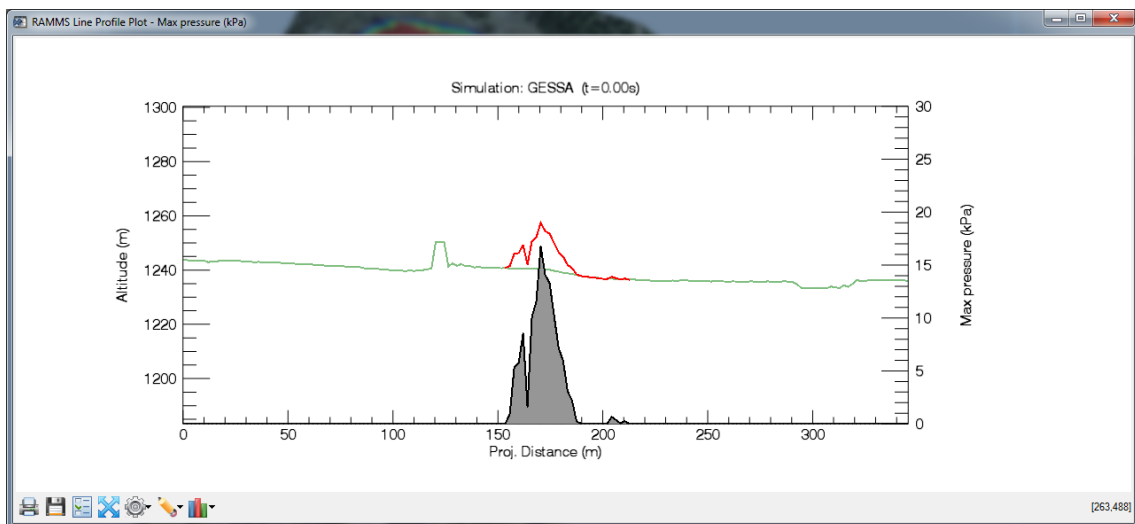
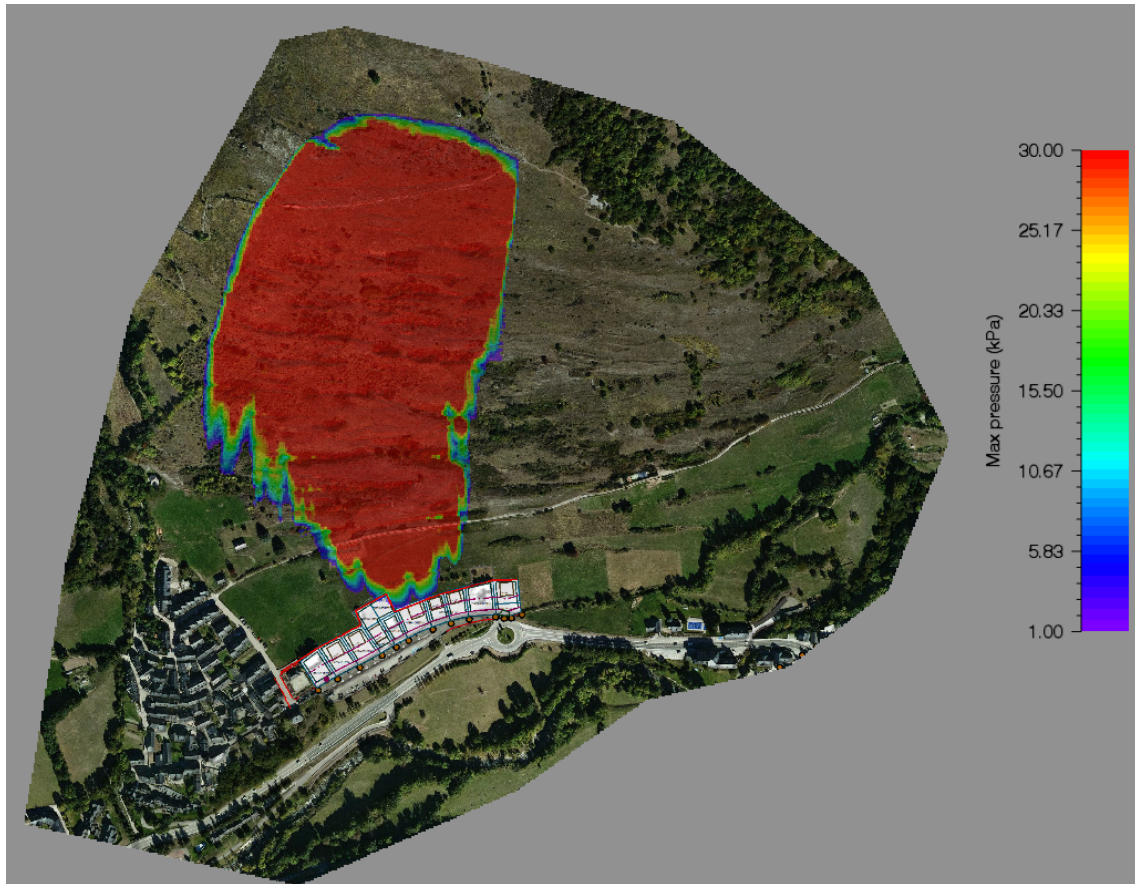
8.1.3 PRESSIONS (kPa)





En les simulacions s'observa com només quedaria afectada parcialment el perímetre nord de la parcel·la 7306536CH2370N uns 40 metres lineals amb unes pressions màximes per sota dels 20 KPa.

PRESSIONS CLASSIFICADES SEGONS (1-30 KPa).



9. VALORACIÓ DE LES SIMULACIONS I PROPOSTA DE PROTECCIONS.

Atenent als elements analitzats al llarg del present estudi, l'allau simulada amb un gruix de neu esllavissable acumulada en 3 dies corresponent a un període de retorn de 100, afecta un marge de dos de les parcel·les en la seva cara més exposada amb pressions d'entre 1-30 kPa.

Aquestes pressions quedarien incloses dins d'una franja d'intensitat Baixa/Mitja; poden afectar obertures de vidre, portes etc. però no estructures de fusta, totxo/pedra i formigó/formigó armat. A continuació es mostren unes taules amb valors de referència en quant a danys estructurals i classificació d'intensitats. **Font: Project no. 018412 IRASMOS/ Integral Risk Management of Extremely Rapid Mass Movements. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).**

Table 4: Correlation between avalanche impact pressure and potential damages

Impact pressure (kPa)	Potential damages
1	
5	Push in doors
30	Destroy wood-frame structures
100	Uproot mature spruce
1000	Move reinforced concrete structures

Table 5: Typical intensity classes in avalanche hazard mapping

Intensity class	Impact pressure
Weak	$I < 3 \text{ kPa}$
Moderate	$3 \text{ kPa} < I < 30 \text{ kPa}$
Strong	$I > 30 \text{ kPa}$

Cal remarcar que aquestes pressions d'impacte s'obtenen de la situació més desfavorable d'allau associada a un T=100 amb una ampla zona de sortida força més extensa que les allaus observades històricament.

9.1 PROPOSTA DE PROTECCIONS.

En general, les diferents tècniques de protecció d'allaus existents es poden classificar segons dues estratègies interrelacionades. Per una banda es classifiquen en funció de la temporalitat de la protecció:

1. **Protecció PERMANENT**: es basa en la instal·lació d'estructures de protecció o obres que modifiquen les condicions físiques del mantell de neu i/o de les allaus i que no requereixen una intervenció posterior ni seguiment, a part del manteniment necessari de tota obra.
2. **Protecció TEMPORAL**: les tècniques utilitzades requereixen la prèvia i contínua observació dels mantell nival i impliquen la presa de decisions humanes en la seva gestió al llarg del temps.

Per una altra banda, es classifiquen en funció de la zona d'intervenció:

- A. **Protecció ACTIVA**: s'actua sobre les condicions de generació de l'allau, evitant o modificant les seves dimensions o el moment del seu desencadenament.
- B. **Protecció PASSIVA**: es manté la dinàmica natural de generació d'allaus y s'actua en el recorregut o en els elements exposats.

A la taula següent es resumeixen els plantejaments de protecció tenint en compte la seva temporalitat i zona d'intervenció, així com especificant les tècniques possibles que inclouen.

Permanent	Activa	T1	Modificació de la superfície del terreny	- Reforestació – Control vegetació - Reperfilat del terreny (terrasses, etc.)
		T2	Control del efecte del vent	- Barreres de vent - Vira-vent contra cornises / <i>jet-roof</i>
		T3	Retenció del mantell de neu	- Barreres rígides de graella - Barreres flexibles de malla
	Passiva	T4	Deflexió	- Superior amb cobertes - Lateral amb discs - Central amb tascons
		T5	Frenada	- Dents o motes
		T6	Parada	- Dics frontals - Cubetes de dipòsit
		T7	Auto-reforç	- Disseny auto-resistent de l'estructura
Temporal	Activa	T8	Desencadenament artificial	- Tiro manual de carga o sobrecarga - Disparo de canó - Dispositius remots
	Passiva	T9	Regulació d'usos	- Protocols d'actuació - Evacuació
		T10	Detecció i avis	- Predicció nivo-meteorològica local - Detectors de moviment i alarma

Figura . Taula resum mesures de protecció

Un cop analitzades les zones d'allau, la zonificació resultant i les alternatives de defensa i vistes les mínimes afectacions a la zona objecte d'estudi s'aposta per recomanar actuacions permanents passives (auto-reforç) de les futures edificacions i temporals passives (regulació d'usos), per tant:

- A) Es requereixen únicament recomanacions de caràcter estructural en la pròpia edificació de les parcel·les lleugerament afectades (7306536ch2370n/7306504ch2370n) en les seves cares mes exposades, principalment (NW i NE) segons imatge adjunta. Aquestes façanes i elements de façana (portes i finestres amb porticons) han de poder resistir una pressió d'impacte mínima de 15 KPa.



- B) Es recomana evitar accedir (ENTRAR I SORTIR) a la zona de les edificacions exposades en cas de previsió de perill FORT (4) i MOLT FORT (5) segons el butlletí oficial del centre de LAUEGI D'ARAN, o les recomanacions que puguin fer des de Protecció Civil o l'ICGC.

10. ANÀLISI DEL RISC RESIDUAL.

En el present apartat s'efectuarà una anàlisi del risc residual.

Pel que fa al risc residual, aquest s'avalua en base a l'estat de l'art dels reglament d'allaus de països veïns (Andorra- França). Es citen les següents definicions:

Risc tolerable: *La probabilitat de pèrdua de vides humanes/any és, com a màxim, de 10^{-5} . El risc tolerable és aplicable als usos següents: de magatzem, d'estacionament, d'aparcament, de tallers de reparació de vehicles, d'estacions de servei, industrial, rurals.*

Risc Acceptable: *La probabilitat de pèrdua de vides humanes/any és, com a màxim, de 10^{-6} . El risc acceptable és aplicable a la resta d'usos no mencionats al subapartat anterior.*

Per tant, el valor objectiu a assolir serà inferior a 10^{-6} mort/any.

Per valorar el risc residual de la zona, l'equip redactor del present informe ha efectuat un seguit de **consideracions que corresponen en molts casos a estimacions raonables, en general pel costat de la seguretat, que permeten obtenir uns valors orientatius del risc residual final**, de manera que es pugui justificar que dit risc residual és assumible. Existeixen multitud de sistemes d'anàlisi per a l'obtenció d'aquest valor. El mètode seguit és el que ha considerat més adequat l'equip redactor al no existir una metodologia ni una norma específica per a la seva determinació.

Risc Residual= Vulnerabilitat x Exposició x Perillositat

Per tal que el fenomen allavós pugui arribar a afectar vides humanes, tal i com marca el reglament, s'han de combinar de forma successiva una sèrie de factors/condicionants que s'han estimat en base els següent criteris.

- 1) Probabilitat d'una allau amb una període de retorn >100 anys. Pel costat de la seguretat
- 2) Que l'allau de 100 anys pugui despendre's i arribar a la zona edificada. Que aquesta mateixa allau pugui sobrepassar (respecte dels límits modelitzats) els obstacles adjacents a la zona

d'estudi. Això es suposa que pot passar 1 cop de cada 1000 vegades donat que ni la simulació ni els antecedents fan pensar en aquesta possibilitat.

- 3) Que l'allau tot i arribar pugui tenir la energia suficient per destruir les parets de la futura edificació. Això també s'estima com molt improbable. Estimant-se en 1 cop cada 100 esdeveniments.
- 4) Que tot i arribar i destruir les parets de l'edifici trobi una persona en la zona afectada. 1 de cada 10 casos.
- 5) Que a més a més pugui causar la mort de la persona afectada. Es suposa que passa sempre.

Per tant les probabilitats d'exposició són les que mostrem a la següent taula:

FACTOR	DEFINICIÓ	VALOR PROVABILÍSTIC (ANYS)
PERILLOSITAT	1) Probabilitat allau amb una període de retorn ≥ 100 anys.	$> 1 \times 10^{-2}$
	2) Que l'allau de 100 anys pugui despendre's i arribar a la zona edificada. Que aquesta mateixa allau pugui sobrepassar (respecte dels límits modelitzats) els obstacles adjacents a la zona d'estudi (considerant els canvis de pendent). Això es suposa que pot passar 1 cop de cada 1000 vegades donat que ni la simulació ni els antecedents fan pensar en aquesta possibilitat.	$> 1 \times 10^{-3*}$
	3) Que la allau pugui desplaçar-se lleugerament cap a la zona de l'hotel i afectar estructuralment en la seva cara més exposada.	$> 1 \times 10^{-2*}$
VULNERABILITAT	4) Que l'allau tot i arribar pugui tenir la energia suficient per destruir les parets de les futures edificacions. Això també s'estima com molt improbable. Estimant-se en 1 cop cada 100 esdeveniments. .	$> 1 \times 10^{-2*}$
EXPOSICIÓ	5) Que tot i arribar i destruir les parets de les futures edificacions es trobi una persona en la zona afectada (cara més exposada). 1 de cada 10 casos	$> 1 \times 10$
	5) Tenim una taxa màxima estimada de pèrdues humanes de 1 persona 1 exposades a la zona de màxima perillositat. Tot i que la probabilitat que es trobi 1 persona a la part més exposada de la allau, quan hi hagi una situació nivometeorològica adversa que pugui produir una allau $> T=100$ anys és molt mínima. Cal tenir present que l'allau té un temps d'ocurrència (des de que es desencadena fins que arriba a baix) molt curt (segons).	1
*Estimacions aproximades efectuades per Nivorisk		

Taula 11. Càlcul del risc residual.

Tenim que el risc residual obtingut es de: 1×10^{-9} morts /any, valor força inferior als requerits per la definició de risc acceptable

11. CONCLUSIONS FINALS

11.1 CONCLUSIONS DE L'ESTUDI.

► S'ha simulat una allau molt més gran (T 100 anys 127 cm) que l'observada (volums sense la tassa d'assentament). La diferència en les mides de l'allau entre el T30 observat i el T100 modelitzat és molt gran, quan en realitat només hi ha 23 cm de diferència en els gruixos de neu mobilitzables (T30=104 i T100=127 cm). Això vol dir que el present estudi estadístic ha sobreestimat notablement el gruix esperable en 30 anys (104 cm) ja que l'allau observada en 30 anys és petita. Això juga en favor de la seguretat: s'ha simulat una allau MOLT PROBABLEMENT força més gran que la que cauria cada 100 anys, si atenem a la mida tan petita de l'observada en T30.

► Atenent als elements analitzats al llarg del present estudi, l'allau simulada amb un gruix de neu esllavissable acumulada en 3 dies corresponent a un període de retorn de 100, afecta un marge A 2 de les parcel·les en la seva cara més exposada amb pressions d'entre 1-30 kPa.

Aquestes pressions quedarien incloses dins d'una franja d'intensitat Baixa/Mitja; poden afectar obertures de vidre, portes etc. però no estructures de fusta, totxo/pedra i formigó/formigó armat. A continuació es mostren unes taules amb valors de referència en quant a danys estructurals i classificació d'intensitats. *Font: Project no. 018412 IRASMOS/ Integral Risk Management of Extremely Rapid Mass Movements. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006).*

► Un cop analitzades les zones d'allau, la zonificació resultant i les alternatives de defensa i vistes les mínimes afectacions a la zona objecte d'estudi s'aposta per recomanar actuacions permanents passives (auto-reforç) de les futures edificacions i temporals passives (regulació d'usos), per tant:

- A) Es requereixen únicament recomanacions de caràcter estructural en la pròpia edificació de les parcel·les lleugerament afectades (7306536ch2370n/7306504ch2370n) en les seves cares més exposades, principalment (NW i NE) segons imatge adjunta. Aquestes façanes i elements de façana (portes i finestres amb porticons) han de poder resistir una pressió d'impacte mínima de 15 KPa.



B) Es recomana evitar accedir (ENTRAR I SORTIR) a la zona de les edificacions exposades en cas de previsió de perill FORT (4) i MOLT FORT (5) segons el butlletí oficial del centre de LAUEGI D'ARAN, o les recomanacions que puguin fer des de Protecció Civil o l'ICGC.

► Tenim que el risc residual obtingut es de: 1×10^{-9} morts /any, valor força inferior als requerits per la definició de risc acceptable

12. LIMITACIONS DE L'ESTUDI.

Per a la correcta comprensió i interpretació del present estudi, cal tenir en compte tot un seguit de limitacions:

- En la part del model numèric d'allaus RAMMS, es realitzen totes les simulacions sobre una base topogràfica de detall del vessant principal obtinguda a partir d'una base topogràfica provinent dels mapes 1/500, 1/1000, 1/500 i vol LIDAR extrets del ICGC. Dita topografia pot quedar subjecta a petites incorreccions, i/o modificacions en algun punt del vessant que puguin esdevenir variacions puntuals en els resultats.
- En la part del model numèric d'allaus RAMMS, es realitzen totes les simulacions utilitzant els valors d'acumulació de neu esllavissable a 72 hores per un període de retorn de 100 anys, a partir de les dades de les respectives estacions automàtiques. La possible revisió de dites dades en un futur haurà de comportar necessàriament la revisió del present estudi.
- Totes les simulacions de l'estudi i proposta d'actuacions, es realitzen segons la situació actual del vessant, tenint en compte totes les condicions que el defineixen: condicions geomorfològiques, de vegetació, estructures de defensa, edificis adjacents, etc. Qualsevol intervenció i/o modificació d'algun punt del vessant pot alterar els resultats, per la qual cosa s'hauria de re-estudiar i redefinir el model en la seva globalitat. Totes les variacions en els resultats que puguin estar subjectes per alguna intervenció i/o modificació puntual d'algun tram del vessant, queden fora de la responsabilitat i abast d'aquest estudi. En qualsevol cas el present model és una base que ha de permetre re-estudiar qualsevol modificació futura.
- El propòsit final d'aquest document és estudiar en quines condicions es produeixen fenòmens allavosos, quines afectacions tenen aquests fenòmens i quines recomanacions/actuacions es poden aplicar per tal de reduir-ne el risc a les persones i als bens materials.
- S'aconsella actualitzar el present estudi de forma periòdica introduint tots aquells elements que puguin implicar una modificació del model d'allaus actual.

- S'aconsella actualitzar el present estudi en funció dels nous estudis que puguin sorgir en relació al "canvi climàtic".

REFERÈNCIES:

- Barbolini, M., Natale, L., Cordola, M., Tecilla, G. 2005. Linee Guida Metodologiche per la Perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe. Neve e Valanghe, 53, 6-15.
- Del Barrio, G., Creus, J., Puigdefàbregas, J. 1990. Thermal seasonality of the high mountain belts of the Pyrenees. Mountain Research and Development 10, 227-233.
- García-Sellés, C., Salvador Franch, F. 1994. Snowfall analysis in the Eastern Pyrenees. Annalen der Meteorologie, 30, 303-306.
- Grünewald, T., Bühler, Y., Lehning, M. 2014. Elevation dependency of mountain snow depth. The Cryosphere, 8, 2381-2394. Doi:10.5194/tc-8-2381-2014.
- Salvador Franch, F., Salvà Villoslada, G., Vilar Bonet, F., García-Sellés, C. 2014. Nivometría y perfiles de innivación en Núria (1970 m, Pirineo oriental): 1985-2013. Cambio climático y cambio global. Publicaciones de la Asociación Española de Geografía (AEC), serie A, nº 9, 729-738.
- « *Estimation de l'épaisseur moyenne de déclenchement d_0 pour le calcul des avalanches coulantes* », Auteurs : A. Burkard & B. Salm.
- “*Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit d_0 zur Berechnung von Fliesslawinen*” rapport interne nº 668 (IFENA, Davos, 1992).
- Guia Tècnica "Defense structures in avalanche starting zones" del Federal Office for the Environment (FOEN) del WSL de Davos.
- MANUAL RAMMS-SLF-WSL
- *International Advanced Training Course on Snow and Avalanches. SLF (Institute for Snow and Avalanche Research). Davos-February 2015.*
- *Curs (RAMMS-RAPID MAS MOVEMENT): Modelització Numèrica de corrents d'arrossegalls i allaus de neu. SLF (Institute for Snow and Avalanche Research). Zurich-2014.*
- Paravalanches et barrières à neige : Stefan Margreth1 & André Burkard2// UEE 2010.

TÈCNICS DE NIVORISK:

► El Sr. Sergi Riba Porras, el Sr. Joan Altimir Planes, com a tècnics redactors de l'estudi assumeixen la responsabilitat de l'estudi i així ho signen.

- **Sergi Riba Porras Dr. Enginyer Civil especialitat en hidrologia i allaus**
- Màster en Recursos Hídrics
Resol. Núm. 7349/2008. (Andorra)
Col·legiat núm: 123 Mates 5 (Andorra)

Joan Altimir Planes/ Geòleg-Geògraf especialista en riscos naturals i enginyeria del terreny.
Resol. Núm:H/90/105 (Andorra)
Col·legiat núm: 1 (Andorra)