



INTERNATIONAL GLACIOLOGICAL SOCIETY

Section des Alpes Occidentales

Tournée 2024

Haute Maurienne

5 au 8 septembre 2024



Sylvain JOBARD et Alain MARNEZY

Légende de la page de garde



1- Photo aérienne des Dômes de la Vanoise, IGN (2022)

2- Ecoulement du Freney, S.JOBARD (2023)

3- Photo aérienne du lac proglaciaire de la Fournache, IGN (2022)

4- Laisse de crue du St Antoine sous le pont de la RD1006, Syndicat Pays de Maurienne (2023)

5- Retenue du Plan d'Aval lors de la vidange décennale de sécurité, A. MARNEZY (1997)

Recherches bibliographiques : Alain MARNEZY et Sylvain JOBARD

Mise en page et production graphique : Sylvain JOBARD

Citer ce document :

JOBARD S. et MARNEZY A., 2024. Livret guide de la Tournée 2024 en Haute Maurienne de l'International Glaciological Society—Section des Alpes Occidentales (IGS-SAO).

Table des matières

1- Introduction et généralités.....	3
2- Eroulement du Freney (la Brèche)	14
3- Crues torrentielles du Charmaix et du St Antoine le 13 août 2023 ...	19
4- Lac proglaciaire de la Fournache	26
5- Hydroélectricité et colmatage sédimentaire d'origine glaciaire.....	31
6- Usages locaux de l'eau (Aussois et alentours)	41
7- Suivis glaciologiques en Haute Maurienne	44
Annexes	53
Références bibliographiques	55
Table des figures	57

1- Introduction et généralités

1.1- Programme de la tournée

Jeudi 5 septembre après-midi : risques naturels dans le bassin de Modane

- ◆ Ecoulement du Freney : Contexte géologique et géomorphologique, impacts sur les voies de communication, actions mises en œuvre... Aperçu du chantier Lyon-Turin (attaque par la descenderie de La Praz).
- ◆ Crues torrentielles récentes : le torrent du Charmaix (Fourneaux) et le torrent du St Antoine (Modane). Crues du 13 août 2023, enjeux (axes de communication, accès au chantier Lyon-Turin), dégâts sur les cônes de déjection urbanisés.
- ◆ Soirée au Fort Marie Christine : conférence de Thomas Echelard sur les glaciers rocheux

Vendredi 6 septembre : sortie glaciaire Vallon de la Fournache, au pied de la Dent Parrachée.

- ◆ Le glacier rocheux de la Fournache. Sortie accompagnée par Thomas Echelard.
- ◆ Le lac proglaciaire de la Fournache formé depuis 2010-2011, à 3000m d'altitude sous la Dent Parrachée : contexte géologique et géomorphologique, degré de risque de vidange, enjeux... Rappel : vidange du lac glaciaire de Lesché en 1979, à proximité immédiate.

Attention : sortie avec environ 1000m de dénivelé, possible de réduire à 700m pour quelques participants avec une approche partielle en 4x4.

- ◆ Soirée : présentation de Sylvain Jobard sur les glaciers locaux en Haute Maurienne : retrait glaciaire, monitoring hydro-météo et photogrammétrie sur le glacier du Baounet.

Samedi 7 septembre :

- ◆ Problématique du **colmatage sédimentaire** du barrage de Plan d'aval : fonctionnement hydroélectrique de la Haute Maurienne – colmatage sédimentaire du Plan d'Aval – impacts - solutions EDF et expérimentations diverses – relations avec le retrait récent des glaciers de la Vanoise?
- ◆ Après-midi : **usages locaux de l'eau** (cas d'Aussois et alentours) : irrigation traditionnelle par gravité, Irrigation par aspersion, eau potable (captages historiques, évolution...), neige de culture, retenue d'altitude, projet de microcentrale, énergies renouvelables (stockage gravitaire). Lien avec la raréfaction des ressources et des impacts du chantier Lyon-Turin (modification des débits des sources captées, mesures compensatoires).
- ◆ Soirée « banquet »

Dimanche 8 septembre :

Sortie terrain commentée par notre collègue Jean-Loup Boisset (retraité Service RTM) : l'amont du bassin-versant du St Antoine. Contexte géomorphologique, historique des aménagements de correction torrentielle, effets de la crue récente...

+ Les gypses : projet de ZSC Maurienne (Zone Spéciale Carrière). Géologie, projet d'exploitation, enjeux, réactions locales... Durée : journée jusqu'en milieu d'après-midi.

Ou bien, 2 possibilités pour le matin uniquement :

- ◆ la nouvelle exposition « gravures rupestres » dans le Fort Victor- Emmanuel de l'Esseillon. Durée 2h environ.
- ◆ balade « Le sentier des sculptures en forêt ». 23 sculptures réalisées dans la forêt de Plan Bois, entre Aussois et Sardières par un artiste local. Durée 2h30.

1.2- Localisation

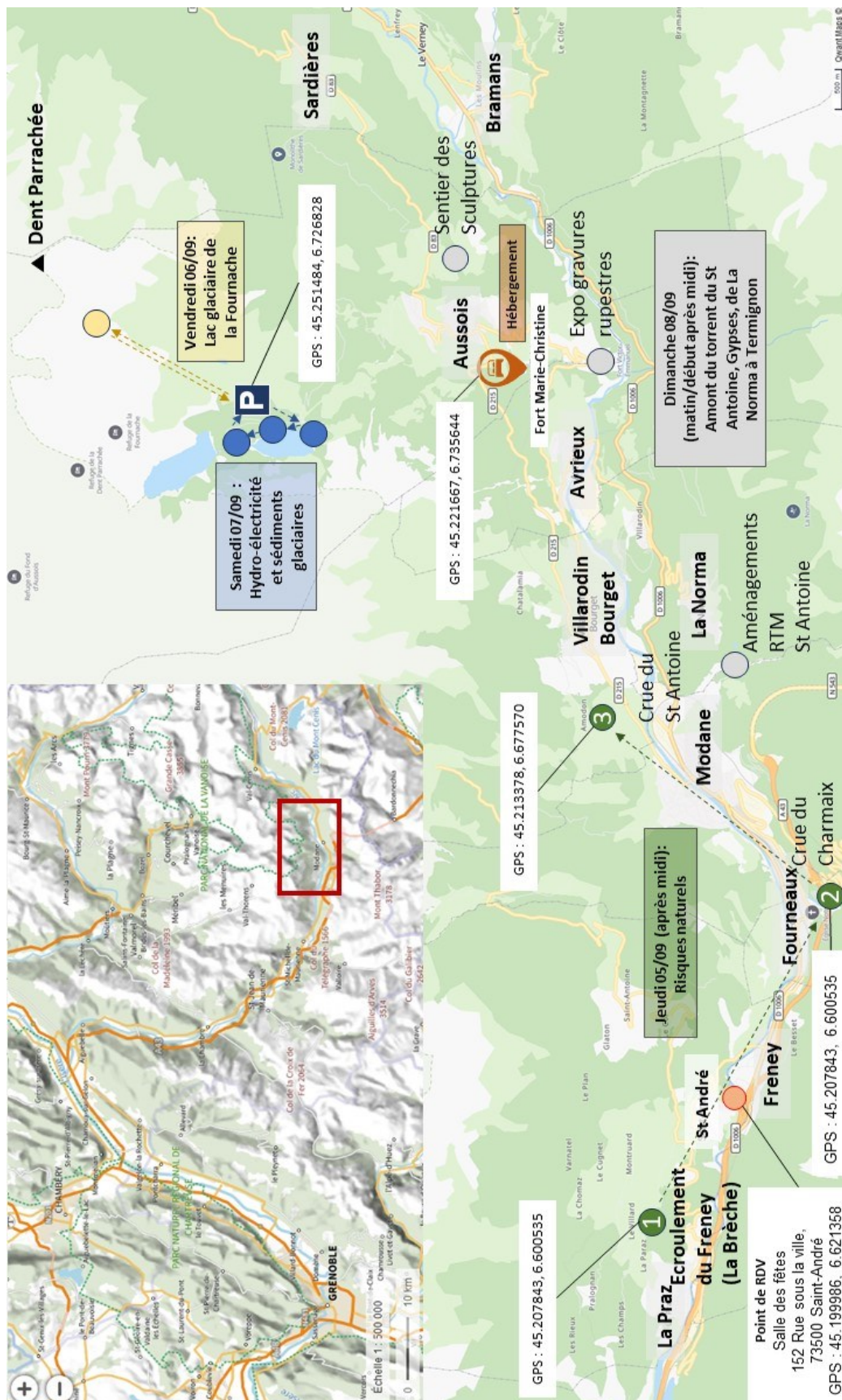


Fig. 1.1 — Localisation et parcours de la tournée

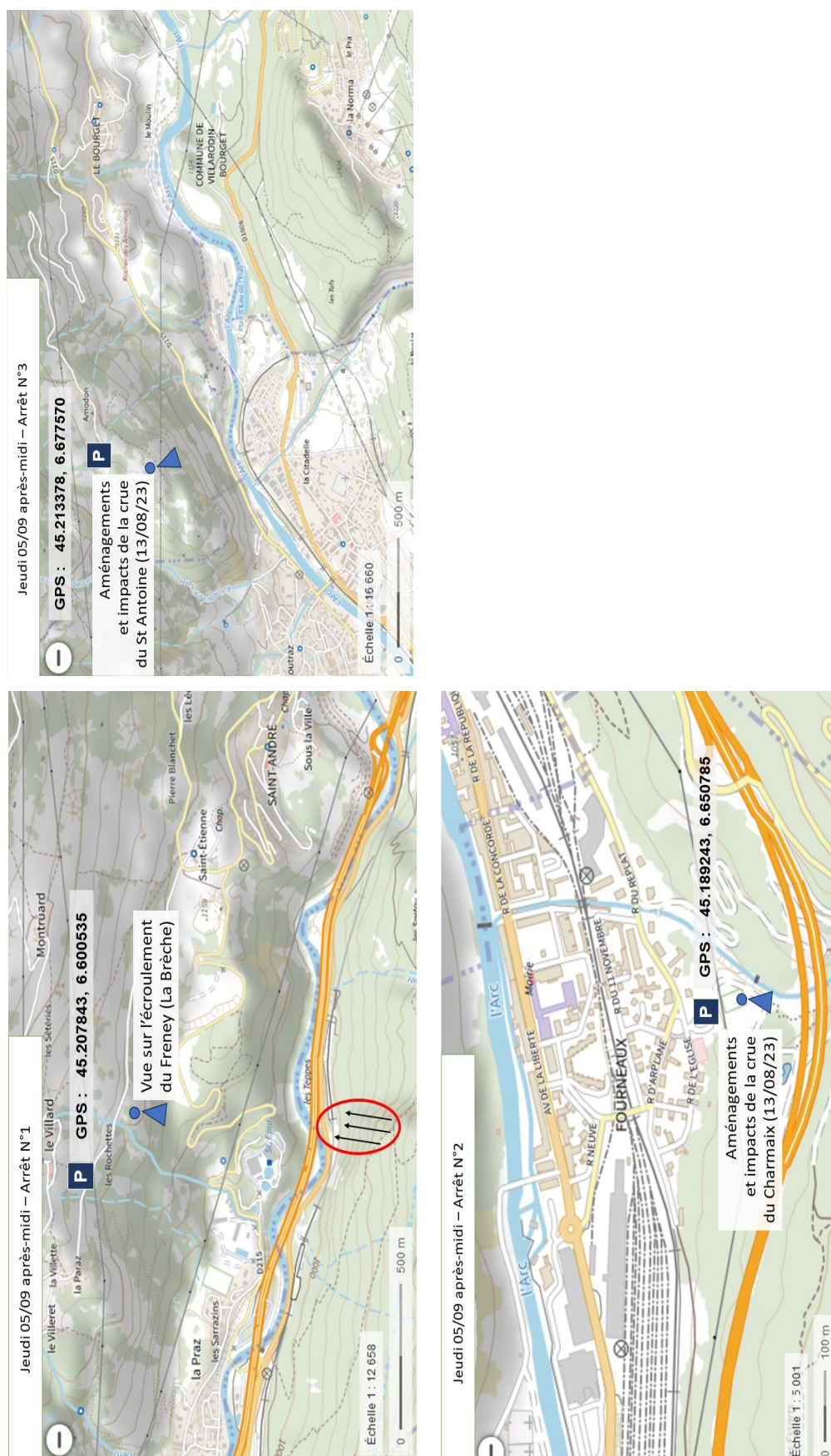


Fig. 1.2 — Localisations des arrêts du jeudi 05 septembre après-midi

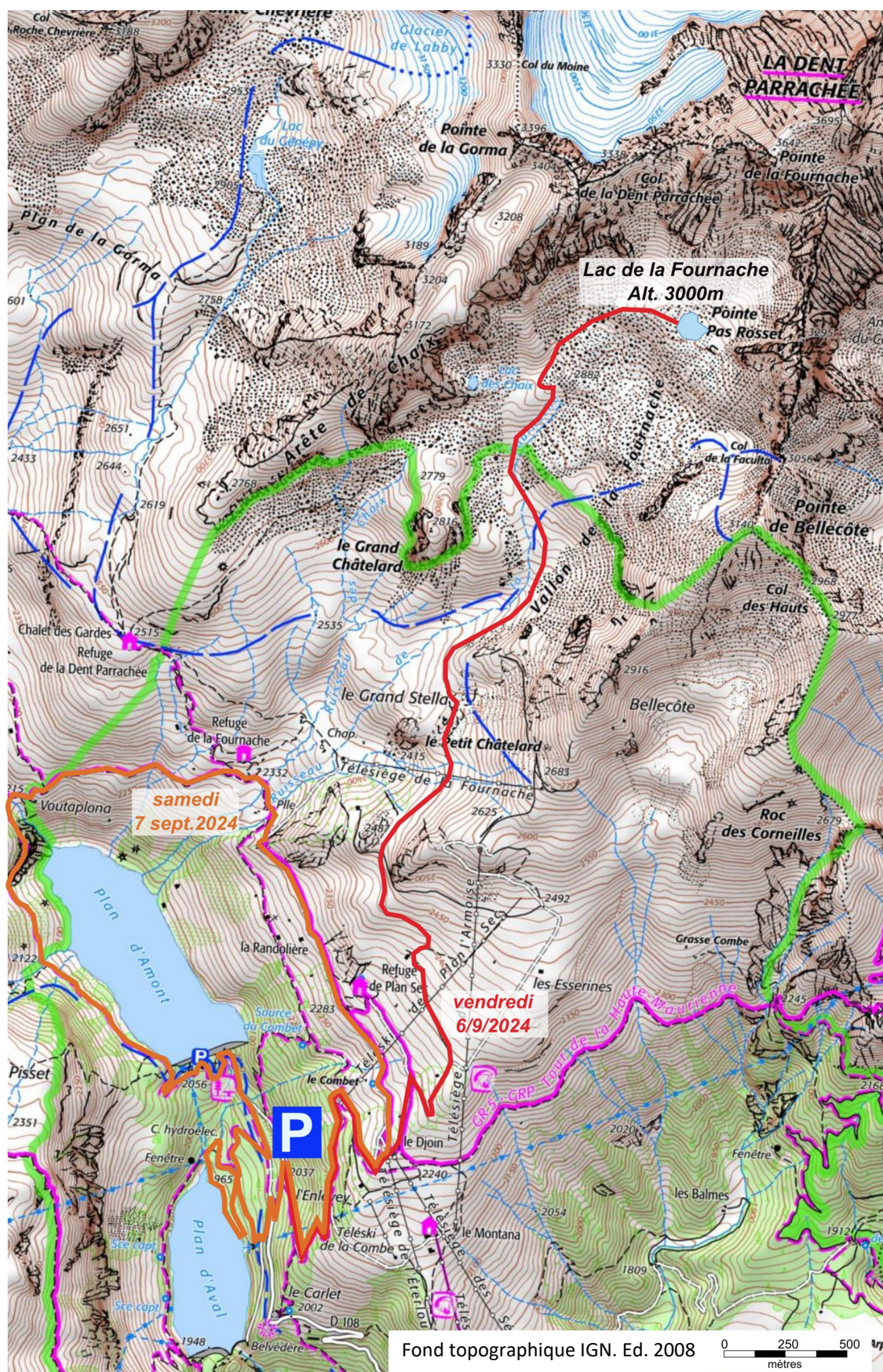
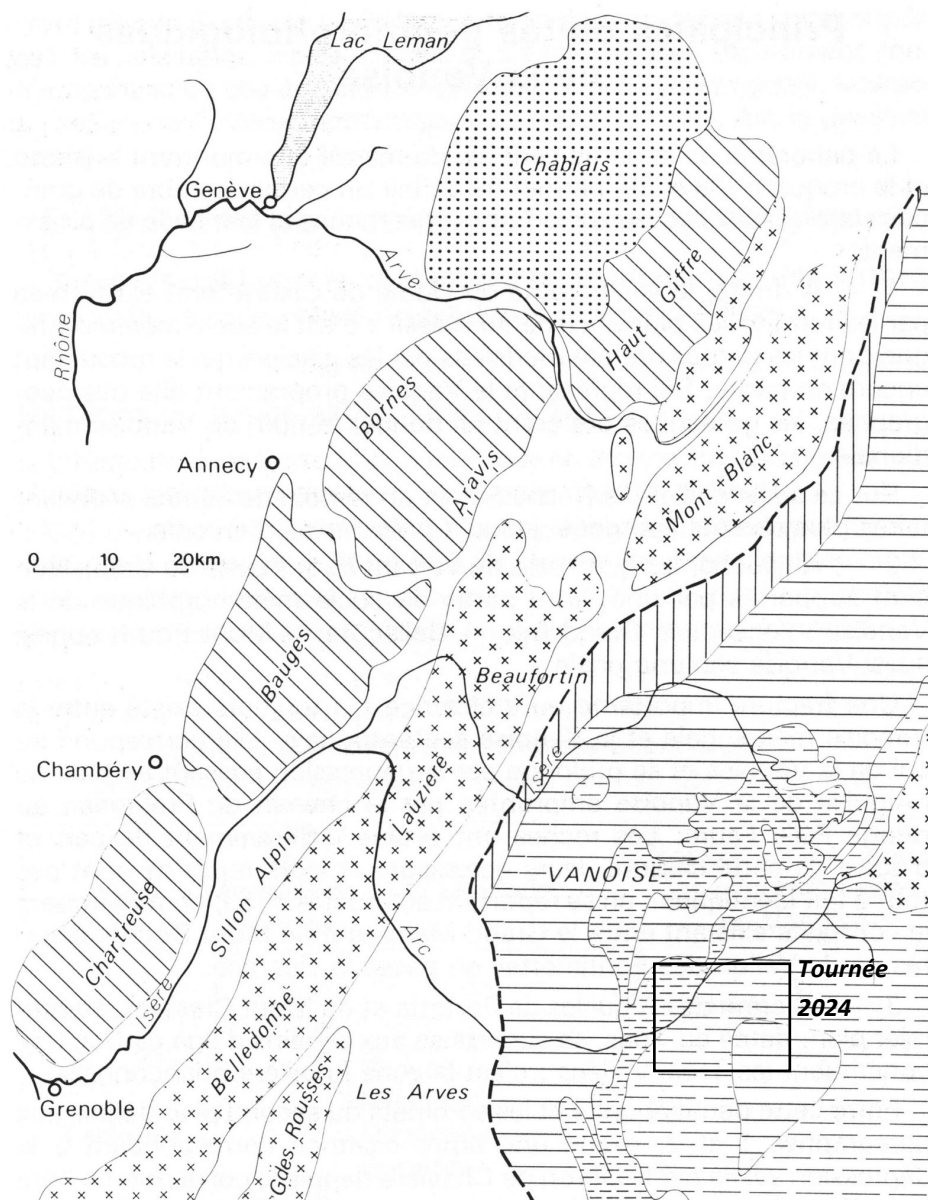


Fig. 1.3 — Excursions du vendredi 6 et samedi 7 septembre 2024



Préalpes du Chablais.

Chaînes subalpines

Chaînes cristallines externes, massif du Grand Paradis.

Terrains sédimentaires de la couverture des chaînes cristallines externes et terrains quaternaires du sillon alpin



Zone briançonnaise y compris les terrains métamorphiques

Zone valaisane

Trias, Jurassique, Crétacé supérieur des Alpes internes

Schistes lustrés et « roches vertes »

Limite des Alpes internes



GOGUEL et PACHOUD, 1978.

Fig. 1.4—Schéma de situation de la Vanoise

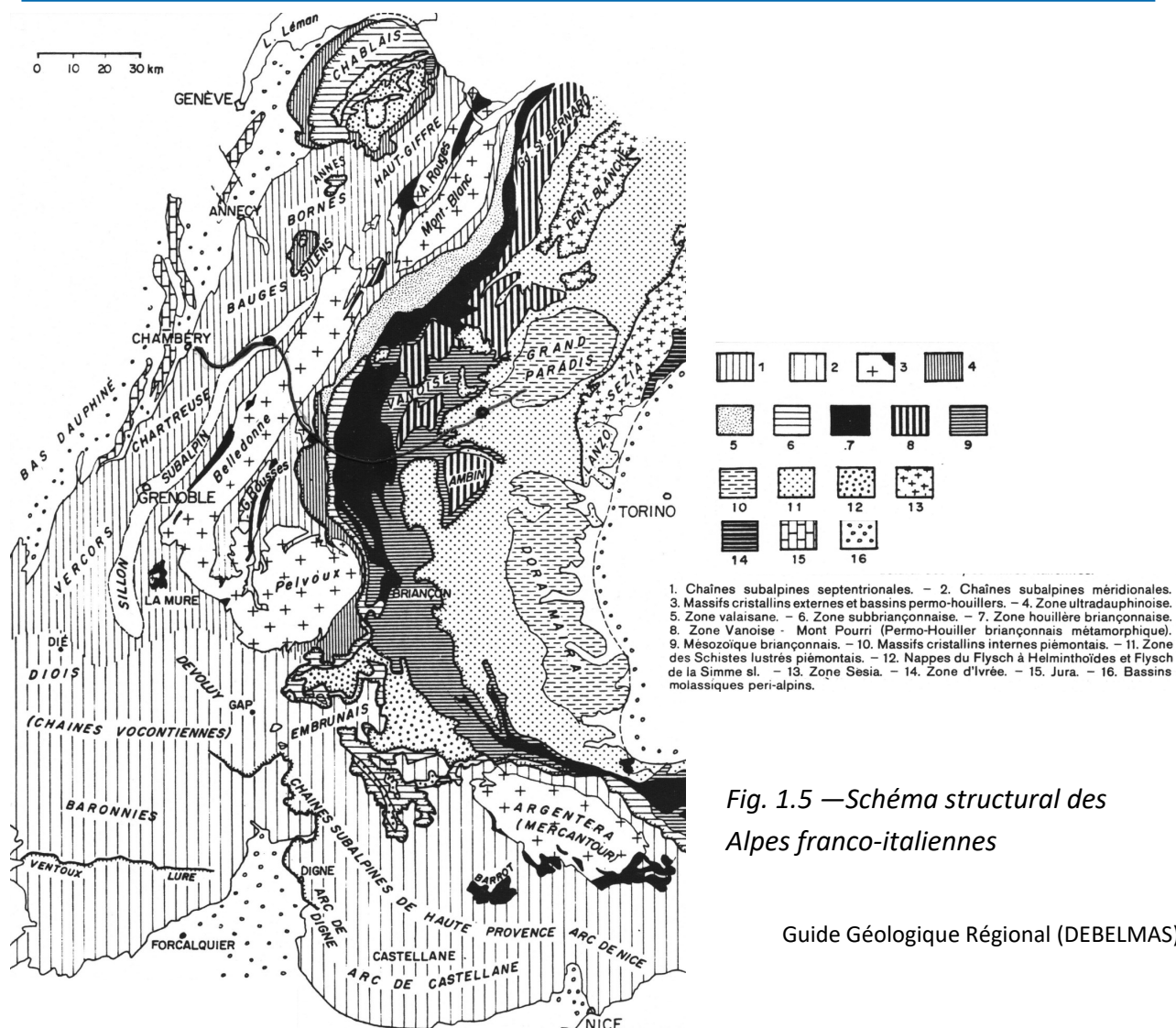


Fig. 1.5 — Schéma structural des Alpes franco-italiennes

Guide Géologique Régional (DEBELMAS)

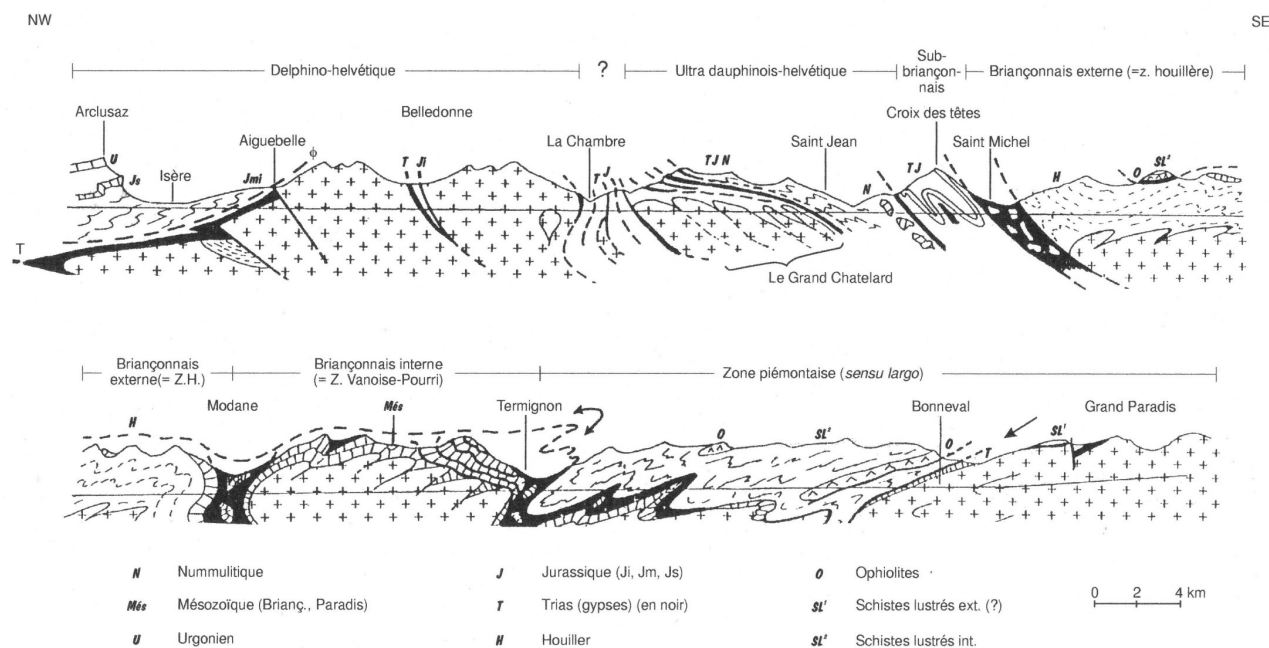
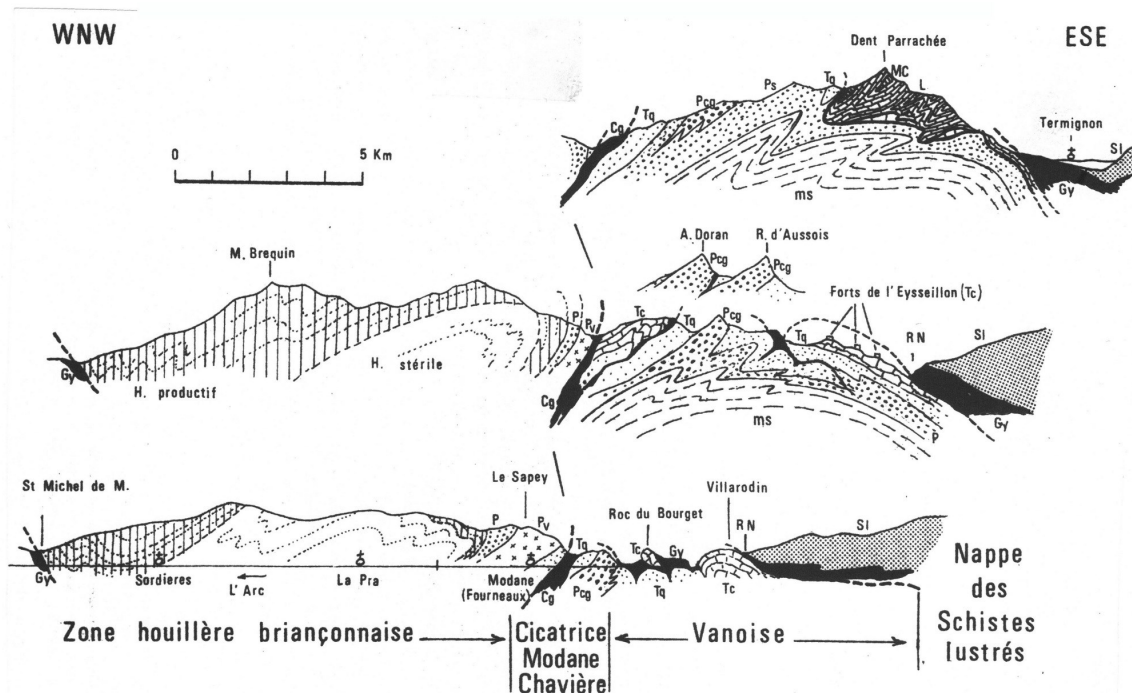
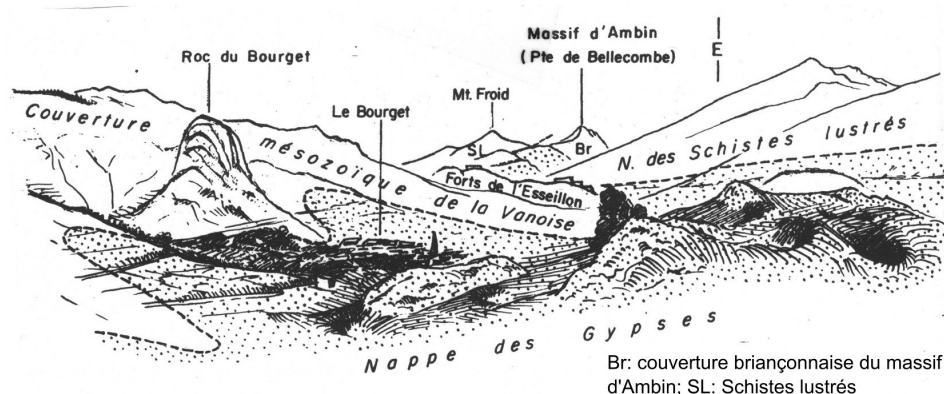


Fig. 1.6—Coupe géologique de la vallée de la Maurienne (rive droite)

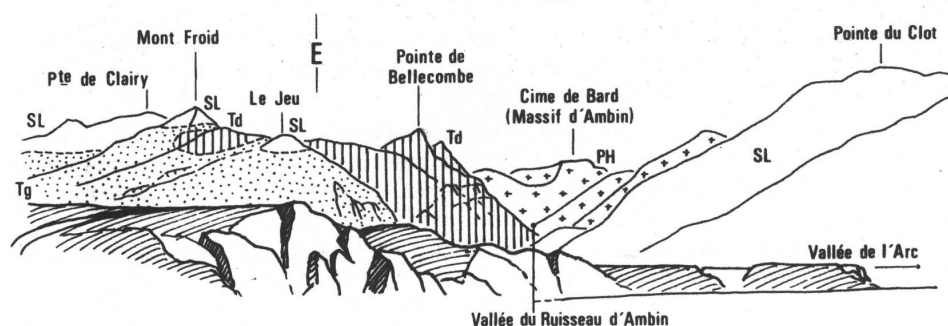
D'après B. DOUDOUX.



a- La zone briançonnaise en Haute-Maurienne (d'après F. ELLENBERGER)



b- Panorama de la vallée de l'Arc, près du Roc Tourné, en amont de Modane



c- Massif d'Ambin, vu d'Aussois

Fig. 1.7 — Coupes géologiques dans la Vanoise

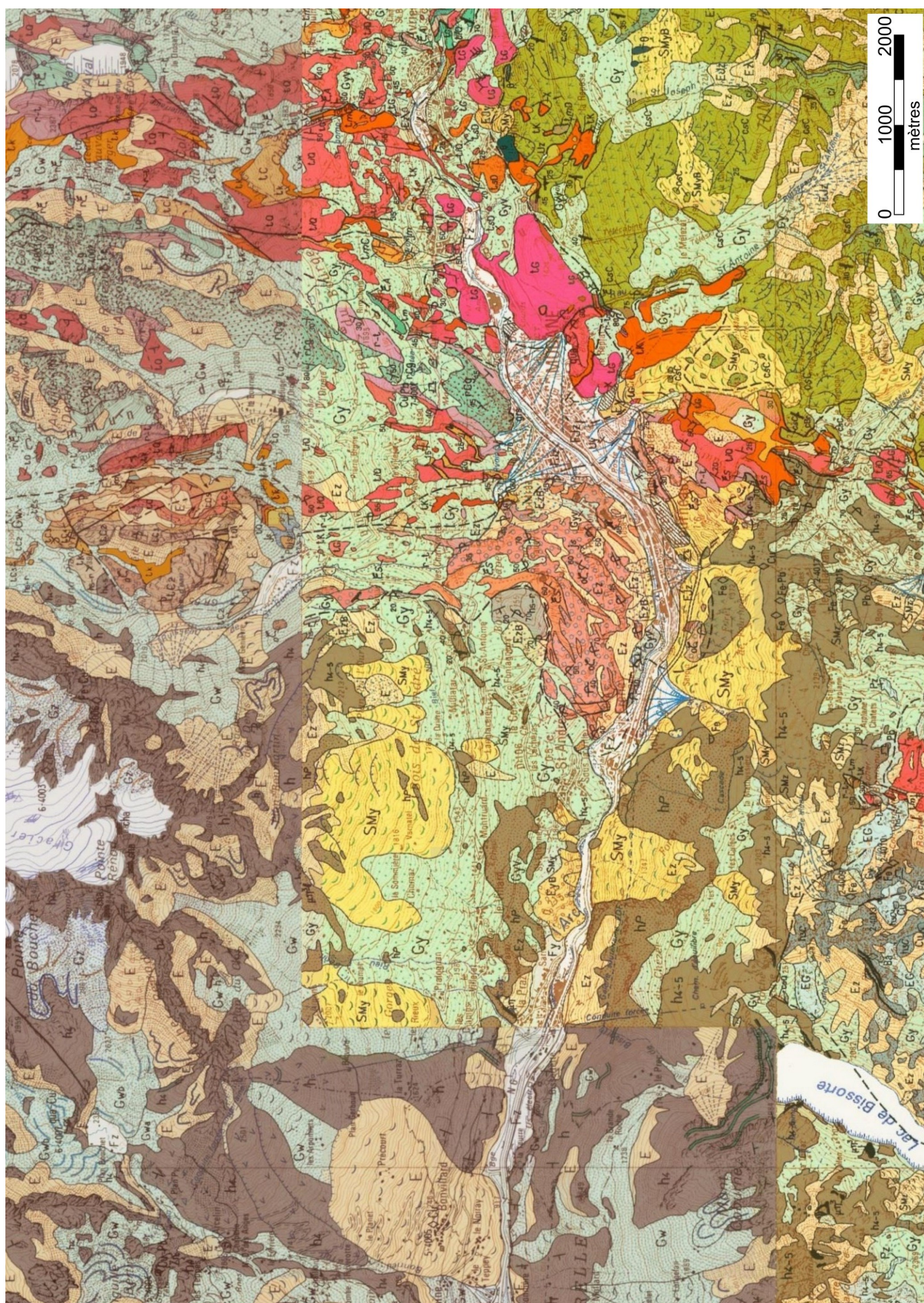


Fig. 1.8 — Carte géologique : secteur de Modane

Source : BRGM

Source : BRGM

Source : BRGM

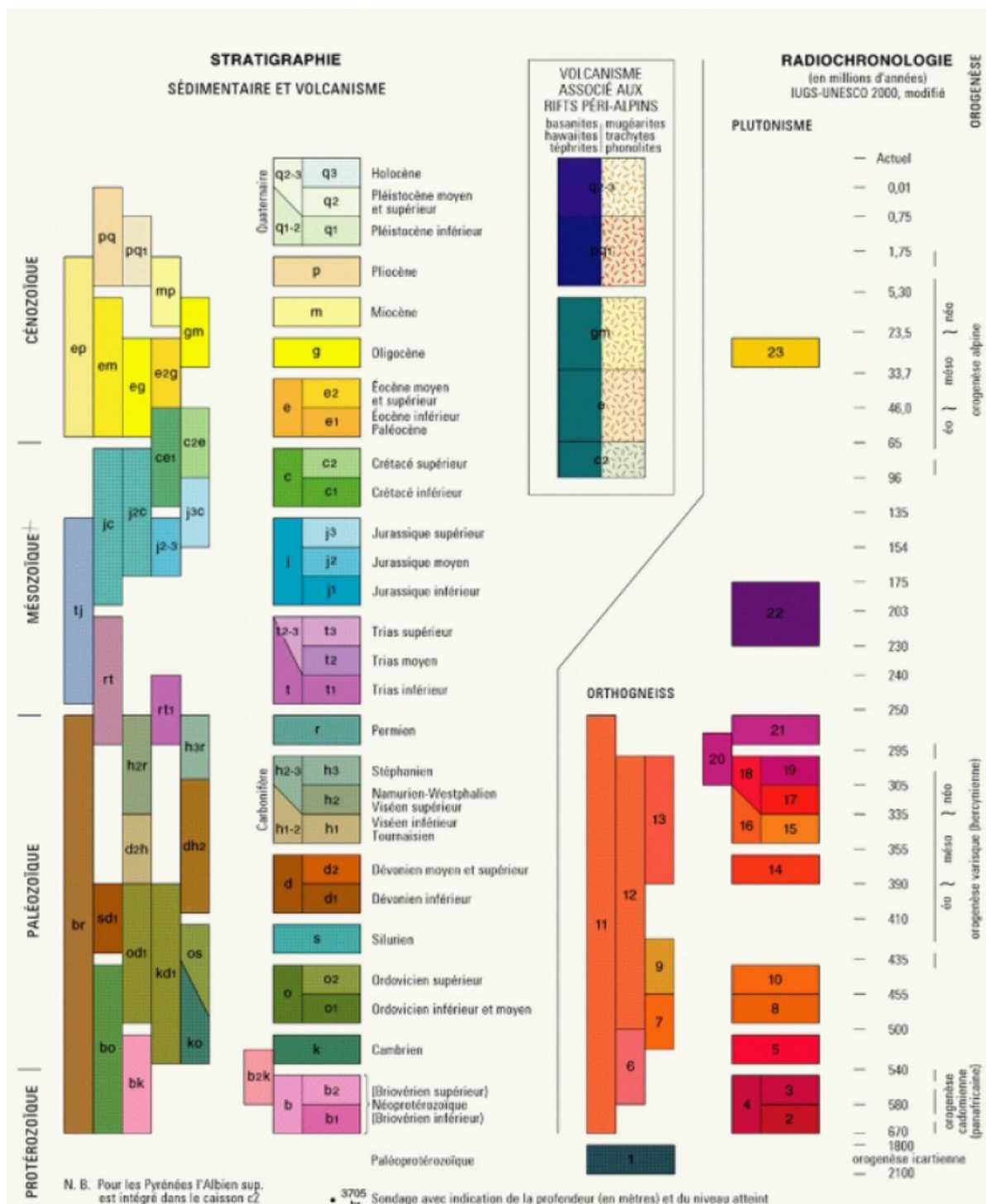


Fig. 1.11 —Légende de la carte géologique

2—Écroulement du Freney (la Brèche) le 27 août 2023

L'écroulement de la Brèche (commune du Freney) se situe dans le contexte géomorphologique global d'un grand écroulement de versant (écroulement de St André). Cet effondrement de terrain ancien (probablement lors du dernier retrait du glacier de l'Arc) a mobilisé un volume de l'ordre de 50 millions de m³, barrant la vallée de l'Arc pour former un lac de barrage. La rivière a ensuite incisé ce dépôt.

L'éboulement actuel de la Brèche du 27 août 2023 concerne initialement environ 15 000 m³ et se localise sur la base du flanc aval de la niche d'arrachement de l'écroulement de St André. La circulation routière sur la D1006 est interrompue (trafic dévié sur l'A43), ainsi que le trafic ferroviaire local et international (ligne de la Maurienne).

La circulation sur le viaduc de l'A43 est restreint à 2 voies de circulations à une seule file et vitesse réduite, protégées des projections et des petites chutes de blocs par un merlon formé d'un assemblage de conteneurs maritimes. La purge de la paroi est essentiellement réalisée par minage à l'explosif par des cordistes.

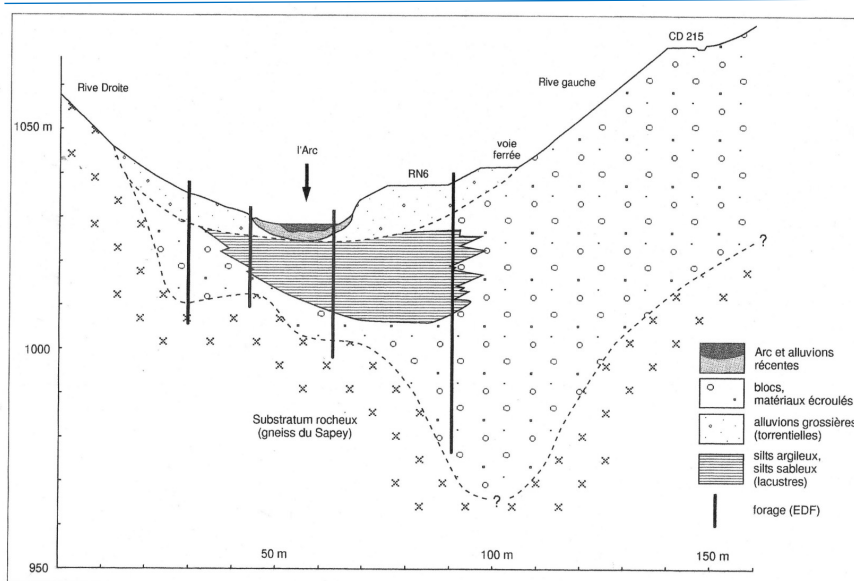
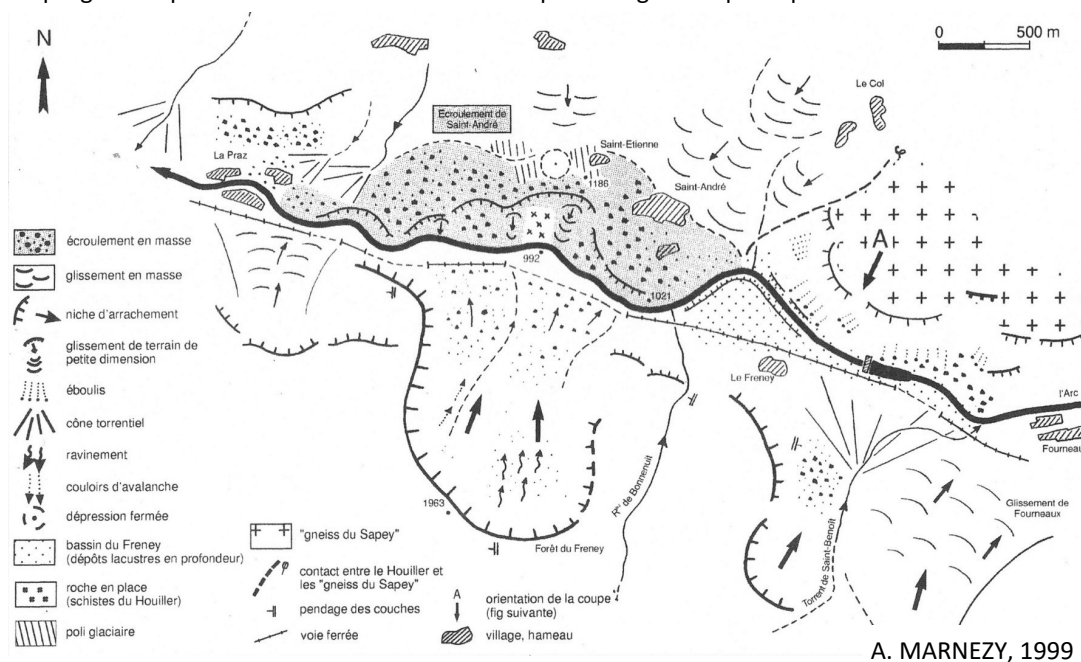
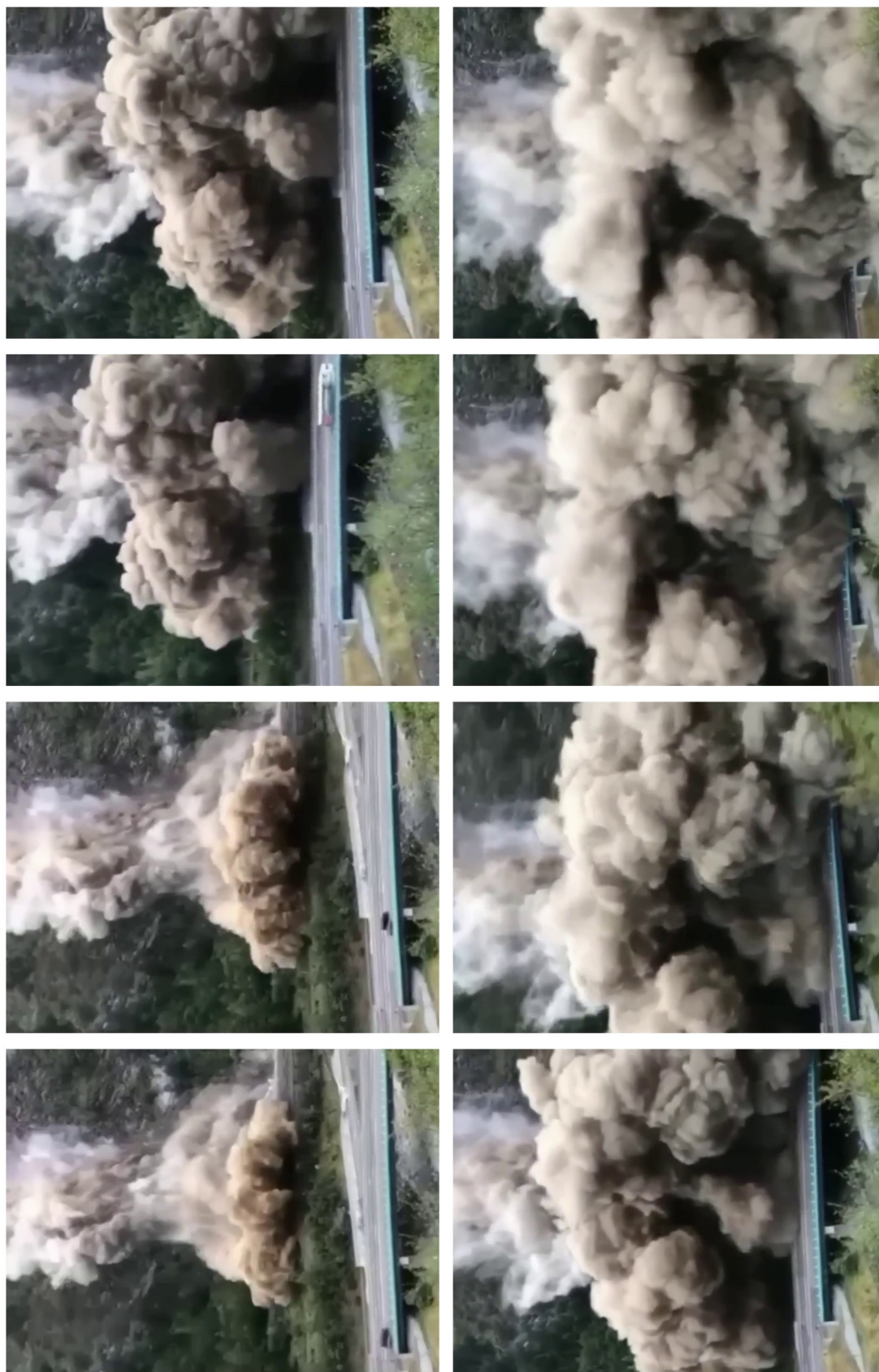


Fig. 2.2—Coupe transversale du bassin du Freney, à l'amont de l'écroulement de Saint-André

A. MARNEZY, 1999.

D'après forages EDF



D'après vidéo de L. Borella (2023).

Fig. 2.3— Aperçu de l'écroulement du 27 août 2023.

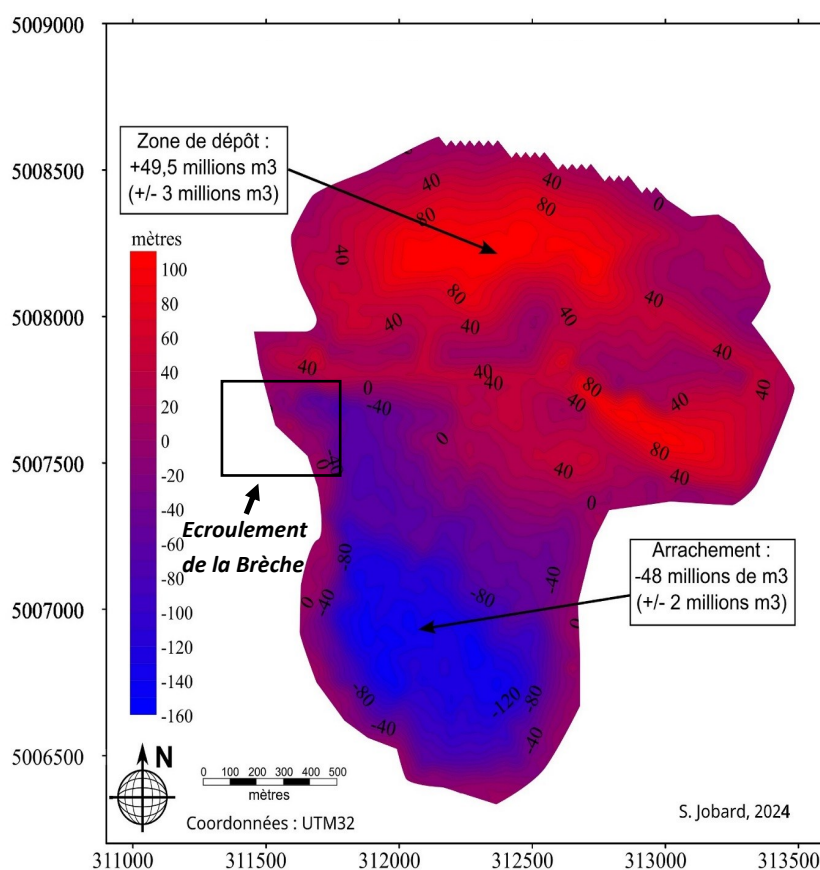
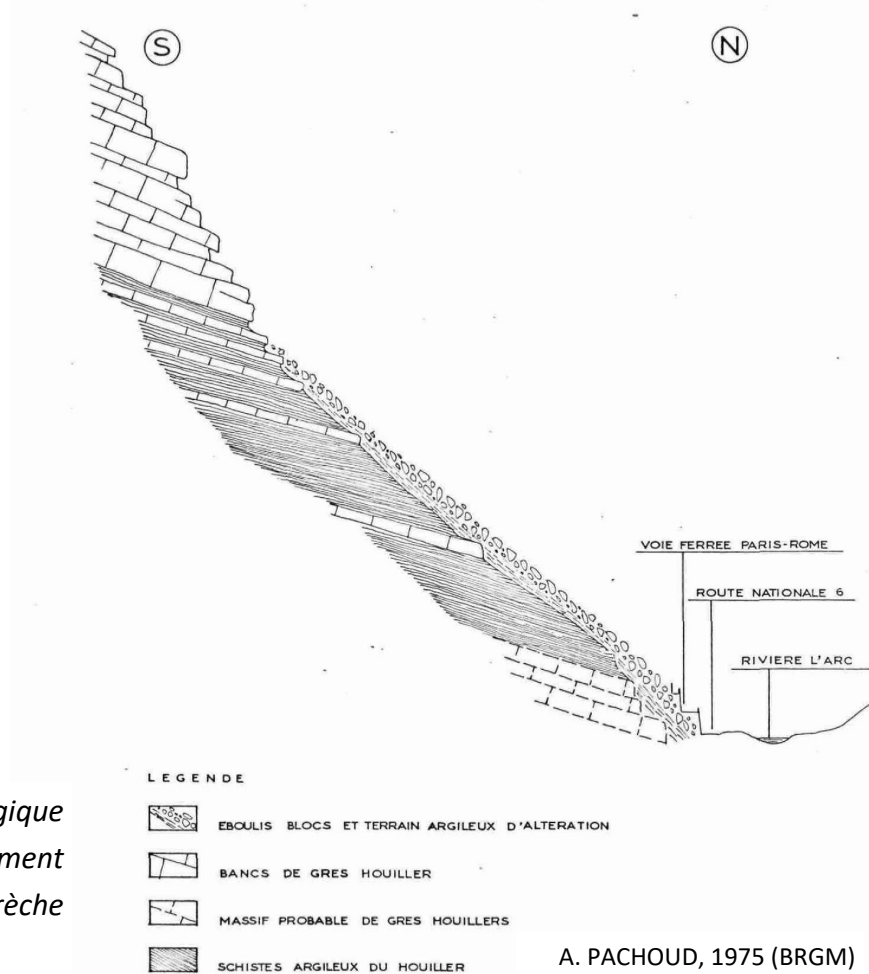
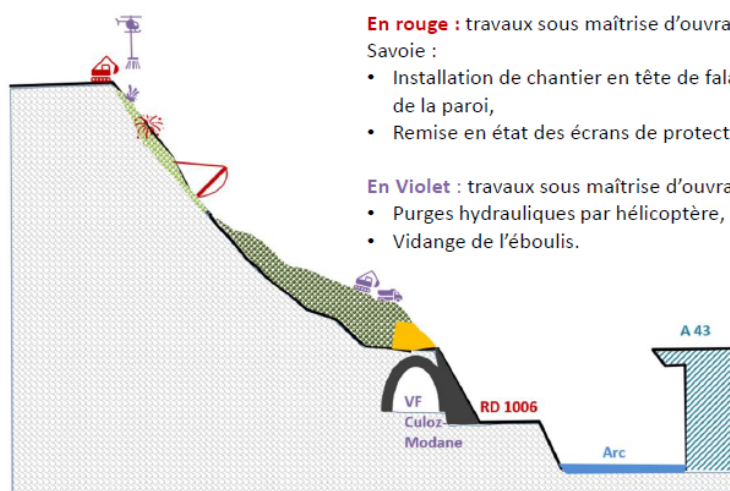


Fig. 2.5—Reconstitution volumétrique du grand écroulement de St André

Trois gestionnaires d'infrastructure et des actions coordonnées :



En rouge : travaux sous maîtrise d'ouvrage du Département de la Savoie :

- Installation de chantier en tête de falaise, purge et sécurisation de la paroi,
- Remise en état des écrans de protection.

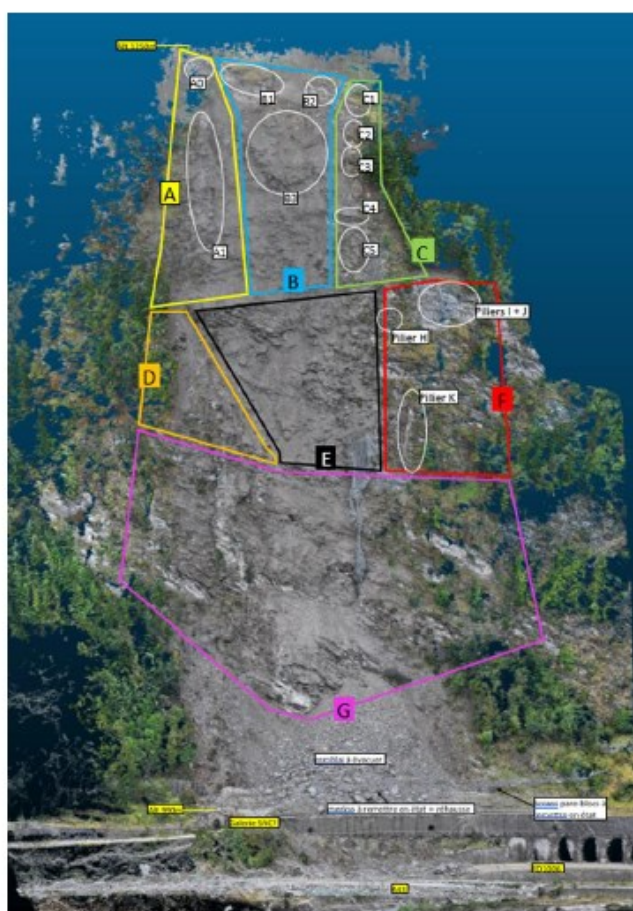
En Violet : travaux sous maîtrise d'ouvrage SNCF Réseau :

- Purges hydrauliques par hélicoptère,
- Vidange de l'éboulis.



DIRECTION TERRITORIALE AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Zoom sur la stratégie de protection de la falaise



7 zones : A, B, C, D, E, F et G

Objectif visé : sécuriser la falaise zone par zone pour pouvoir travailler en sécurité et pouvoir réaliser les travaux de réparation en pied de versant pour l'ensemble des partenaires.

Zone de travail : partie supérieure (A, B et C) et partie médiane (D, E et F).

Travaux : purges, minages, grillages plaqués, grillage avaloir, ancrages - Nécessité de procéder de façon répétitive pour sécuriser les postes de travaux au fur et à mesure de leur avancement.

Organisation : Pilotage Département de la Savoie ; entreprise CITEM, bureau d'études SAGE.

Travail 7 jours sur 7

(sous réserve des conditions météo - 2 jours d'intempéries seulement depuis le démarrage des travaux en falaise)
Temps estimé : 360 jours de travail

Documents: DT AURA / CG73 / SNCF réseau

Fig. 2.6—Travaux de sécurisation de l'écroulement de la Brèche (Freney) du 27/08/2023



D'après vidéo du Dauphiné Libéré (2023).

Fig. 2.7— Aperçu d'un tir de sécurisation de la paroi de l'écroulement du Freney

3— Crues torrentielles du Charmaix et du St Antoine le 13 août 2023

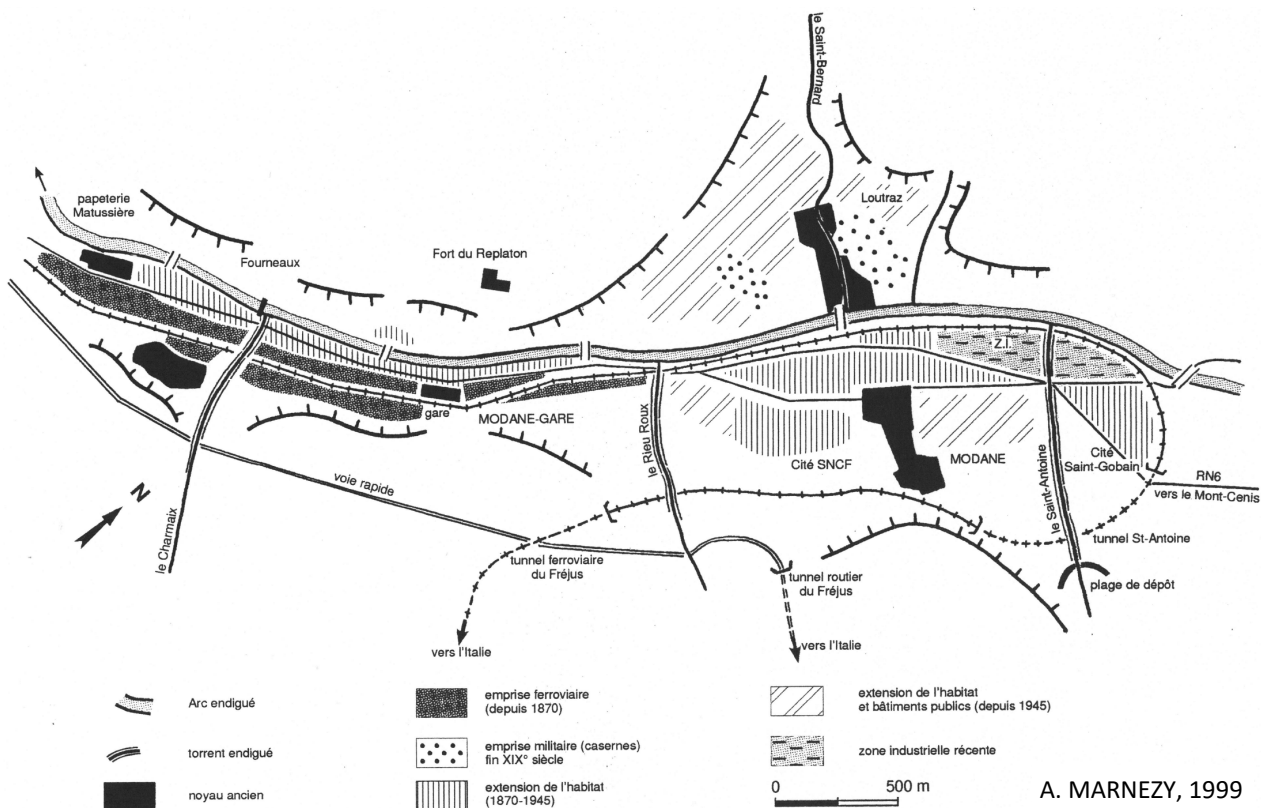


Fig. 3.1 — Le bassin de Modane-Fourneaux, les étapes de l'urbanisation

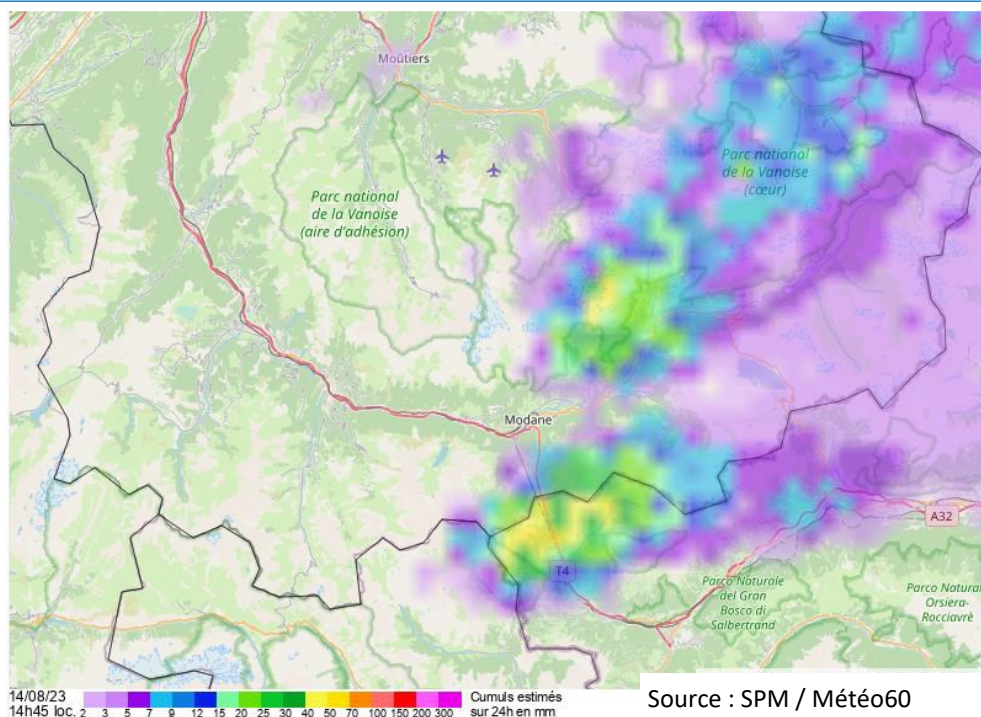


Fig. 3.2 — Cumuls de précipitations estimés entre le 13/08 et le 14/08

3.1— Le torrent du Charmaix (crue du 13 août 2023)

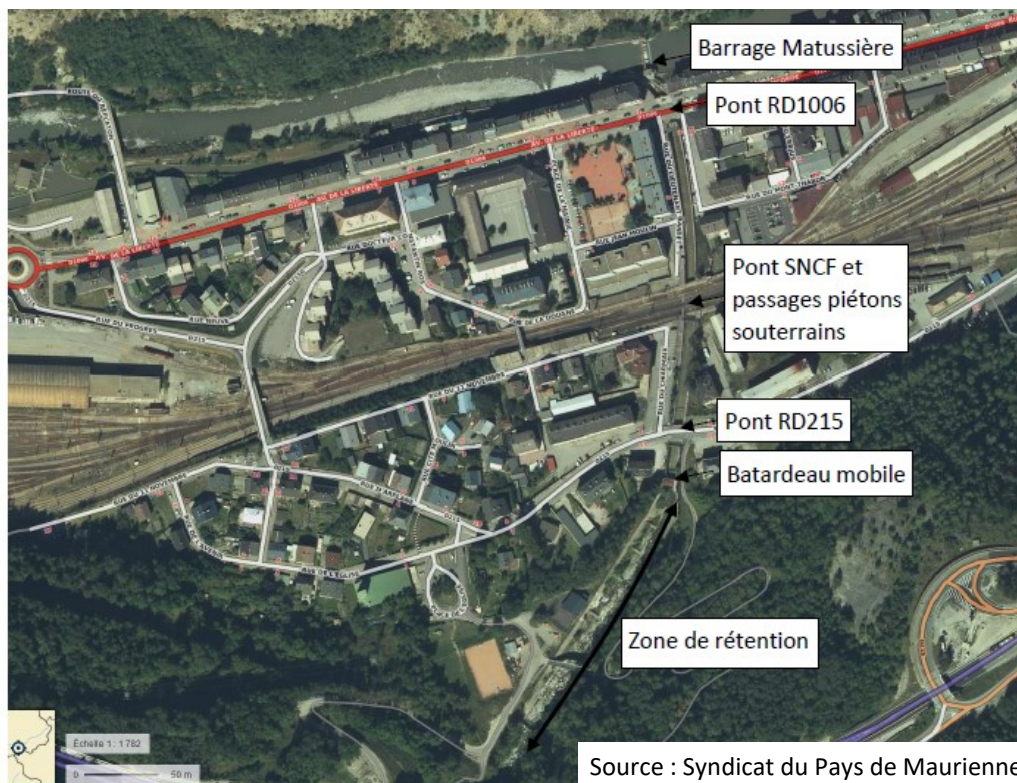


Fig. 3.3 — Localisation des ouvrages le long du Charmaix dans la traversée de Fourneaux

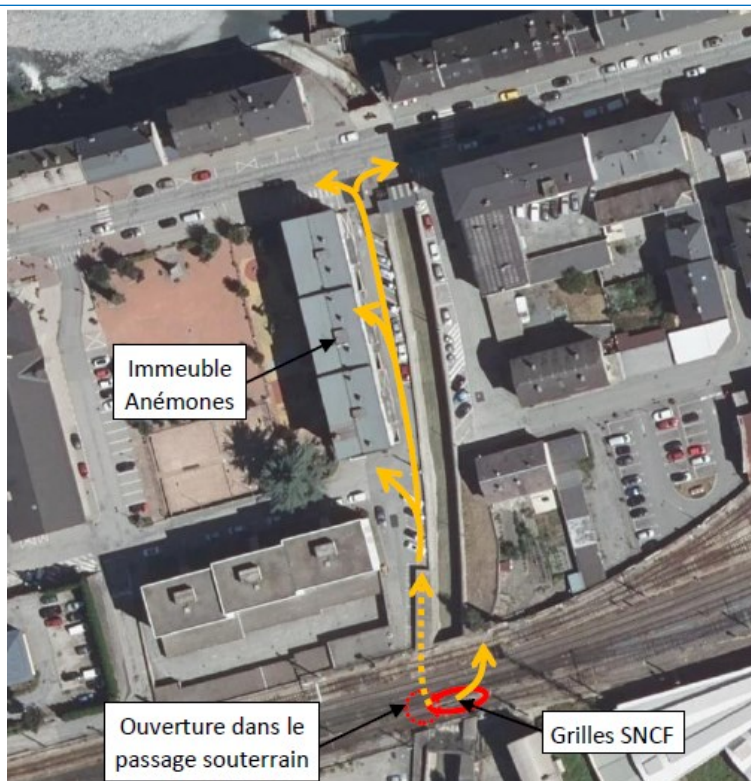


Fig. 3.4 — Origine et cheminement des écoulements



Fig. 3.5—Photos du canal du Charmaix et des matériaux excavés

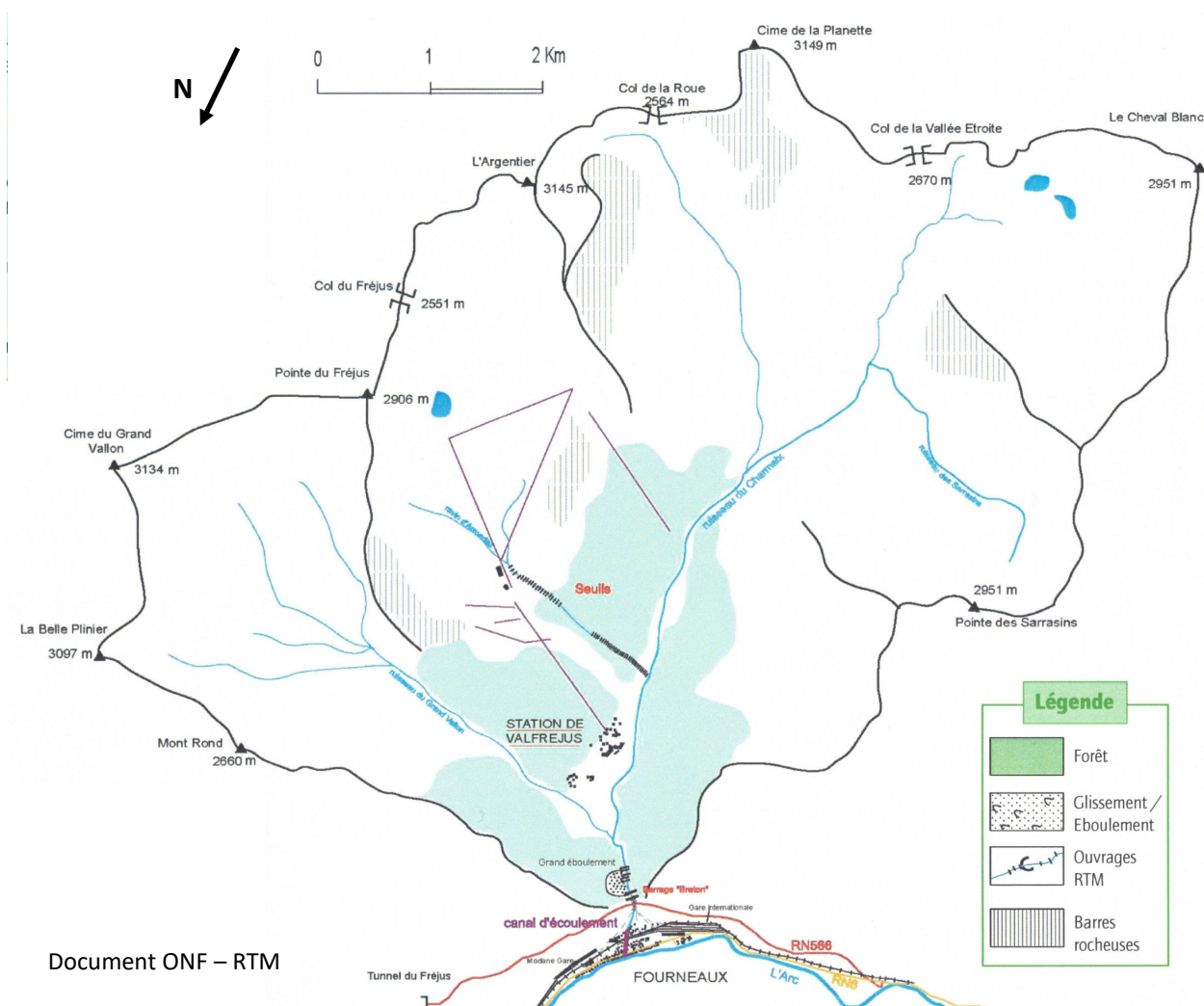


Fig. 3.6 — Le bassin versant du Charmaix et ses aménagements

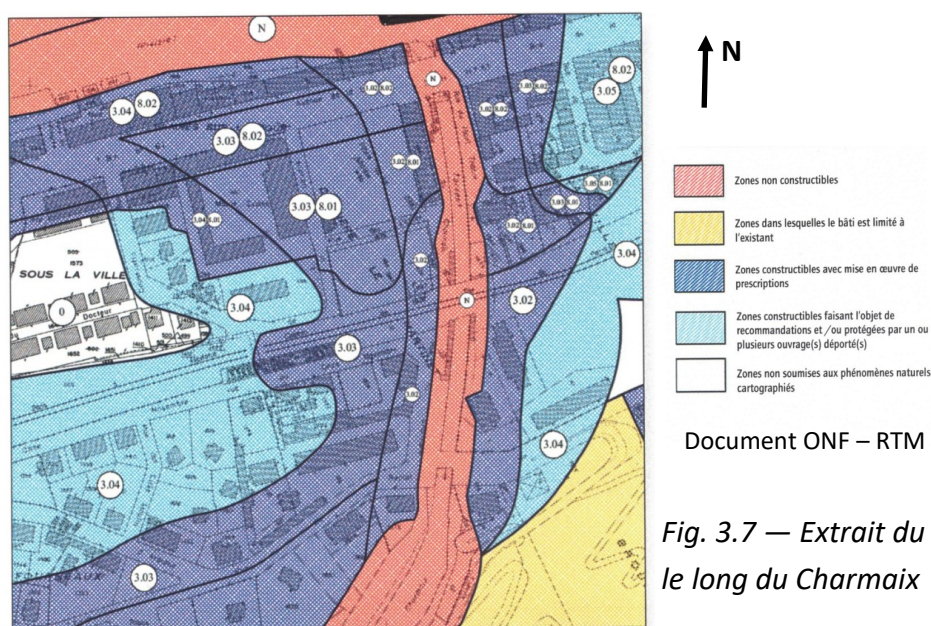
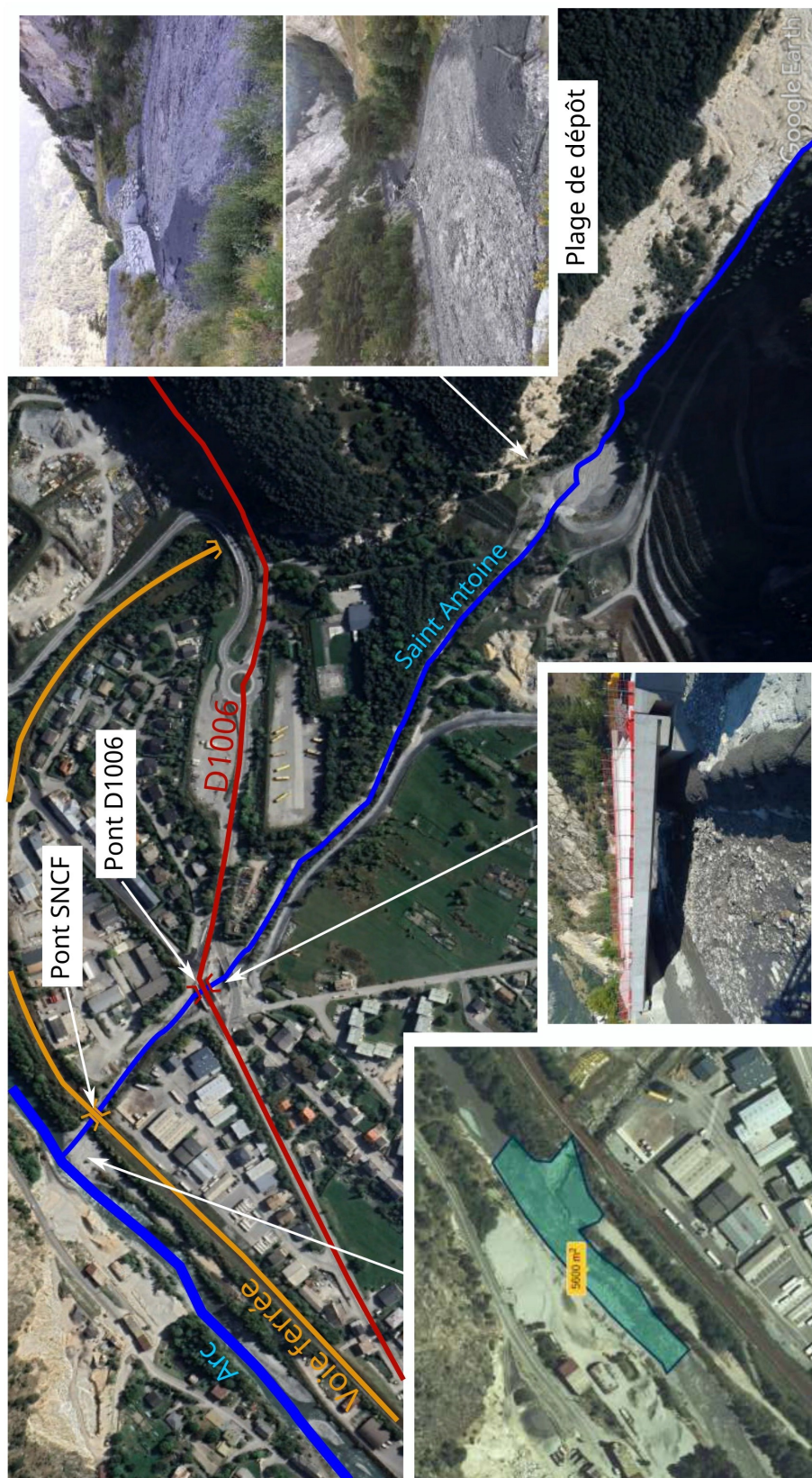


Fig. 3.7 — Extrait du PPR de Fourneaux, le long du Charmaix

3.2— Le torrent du St Antoine (crue du 13 août 2023)



D'après documents du Syndicat du Pays de Maurienne

Fig. 3.8 — Impacts de la crue du 13 août 2023

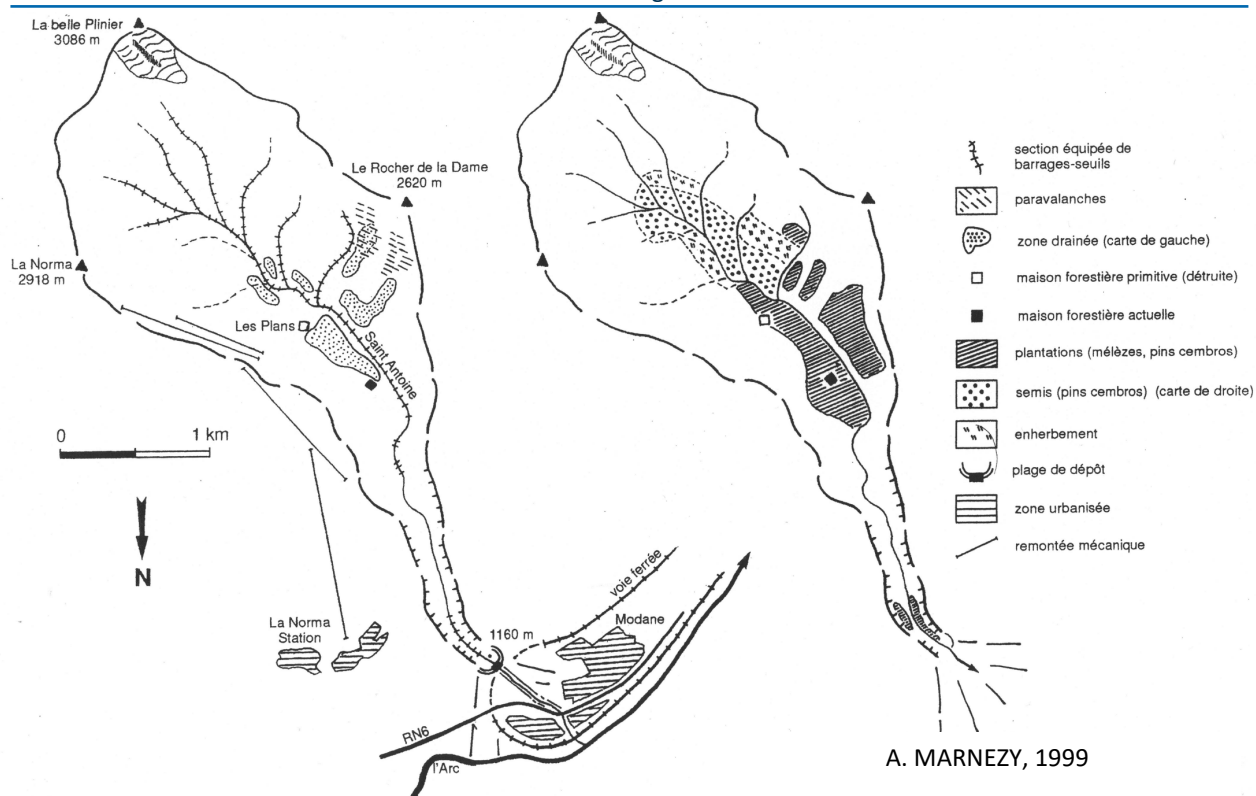


Fig. 3.9 — Le torrent du Saint Antoine : travaux de protection effectués de 1898 à 1998

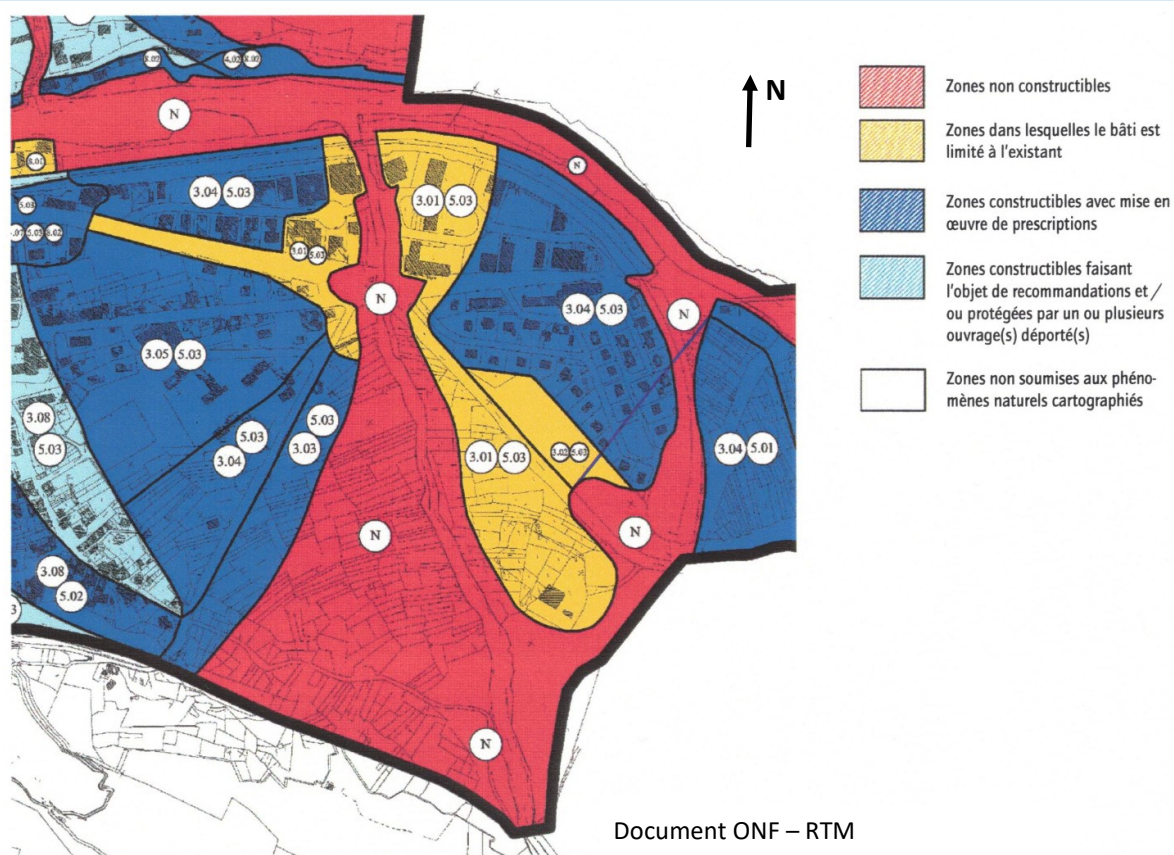


Fig. 3.10 — Extrait du PPR de Modane dans le secteur du Saint Antoine



- ● ● ● Accès en voiture jusqu'à la télécabine
- ● ● ● Parcours pédestre, 2 h, à sillonner après plusieurs jours de temps sec. On peut y observer le milieu naturel propre au Saint-Antoine et l'ensemble des aménagements de correction torrentielle et de stabilisation des versants.
- ● ● ● Accès en voiture à la plage de dépôt avec vue sur les parois gypseuses en rive droite du torrent.

Fig. 3.11 — Découvrir les aménagements du Saint Antoine

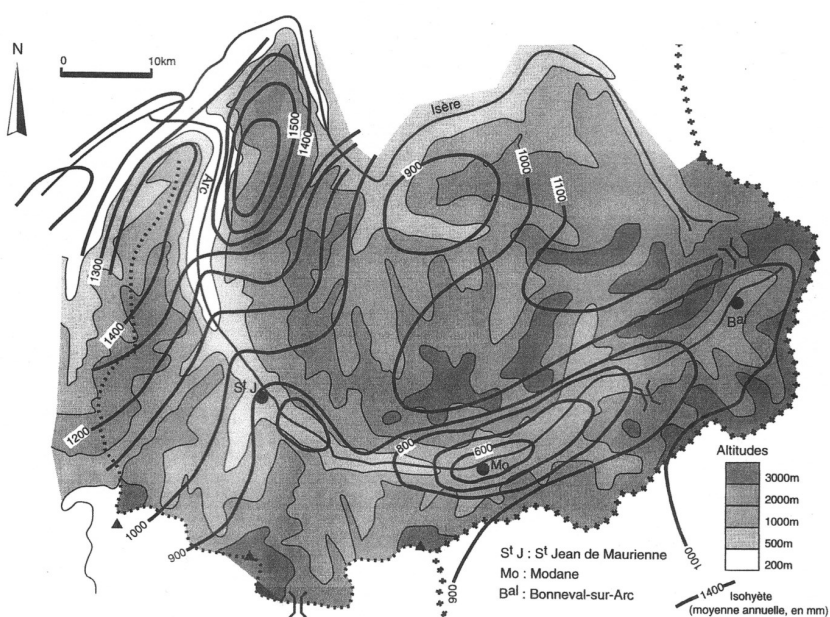
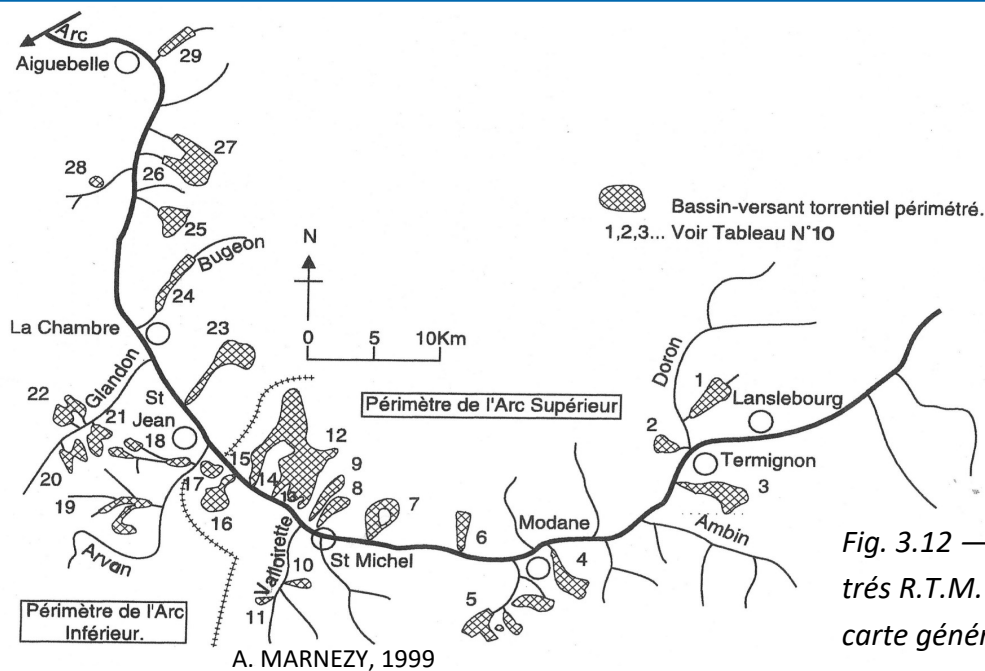


Fig. 3.13 — Carte des précipitations moyennes annuelles en Maurienne et Vanoise

D'après données du Centre Départemental Météorologique de la Savoie

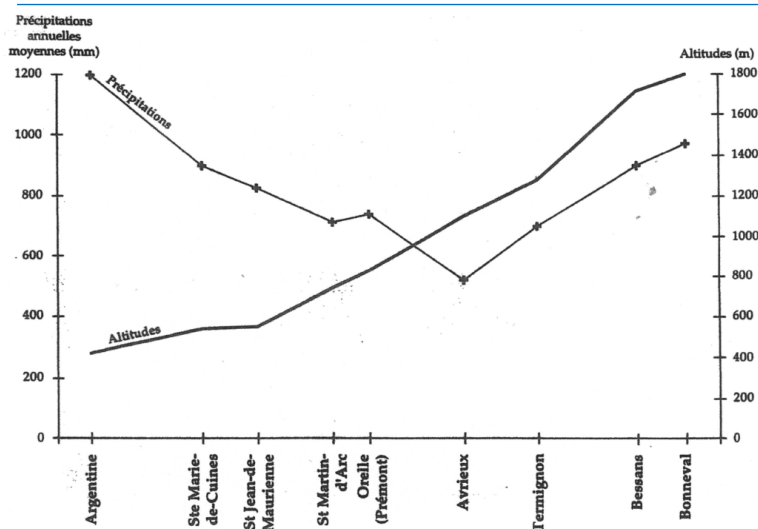


Fig. 3.14 — Evolution des précipitations annuelles moyennes le long de la vallée de la Maurienne

D'après données du Centre Départemental Météorologique de la Savoie

4— Lac proglaciaire de la Fournache

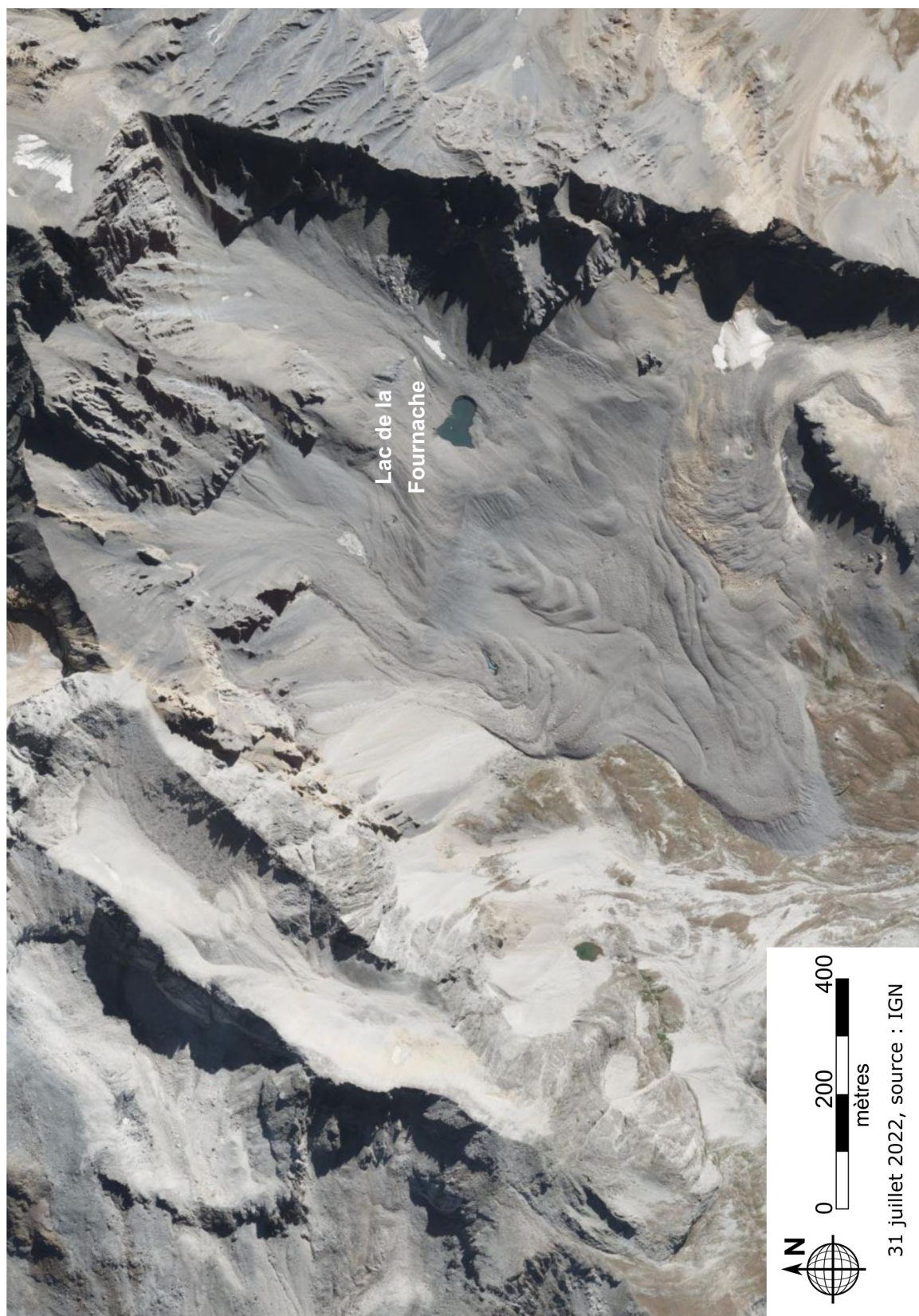


Fig. 4.1 — Photo aérienne ortho-rectifiée du glacier rocheux et du lac de la Fournache (2022)

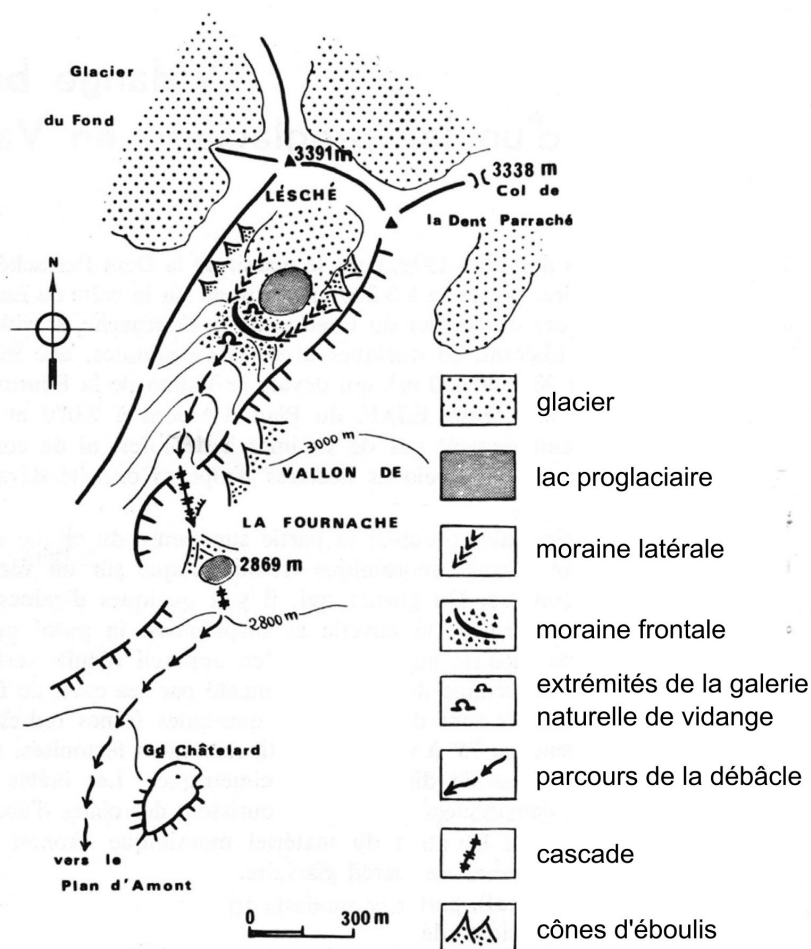
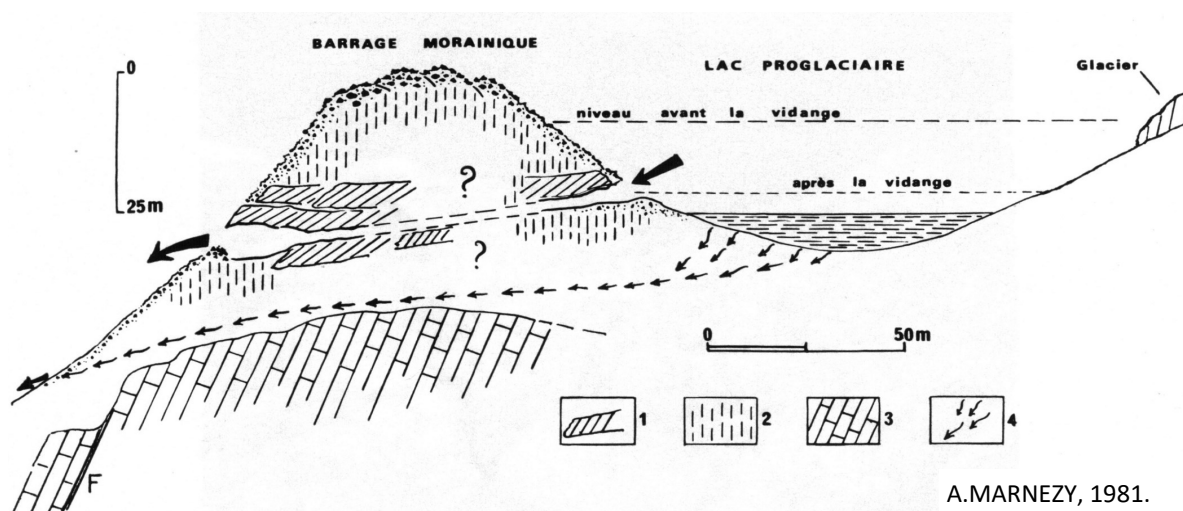


Fig. 4.2 — Croquis de situation : le cirque suspendu de Lesché (massif de la Dent Parrachée)

A.MARNEZY, 1981.



A.MARNEZY, 1981.

Fig. 4.3 — Coupe du barrage morainique et lac proglaciaire de Lesché

Légende: 1, banc de glace « de glacier » (« glaces mortes »); 2, agglomérat de débris rocheux soudés par de la glace de regel; 3, substratum (quartzites francs); 4, pertes, infiltrations, sous-écoulements.

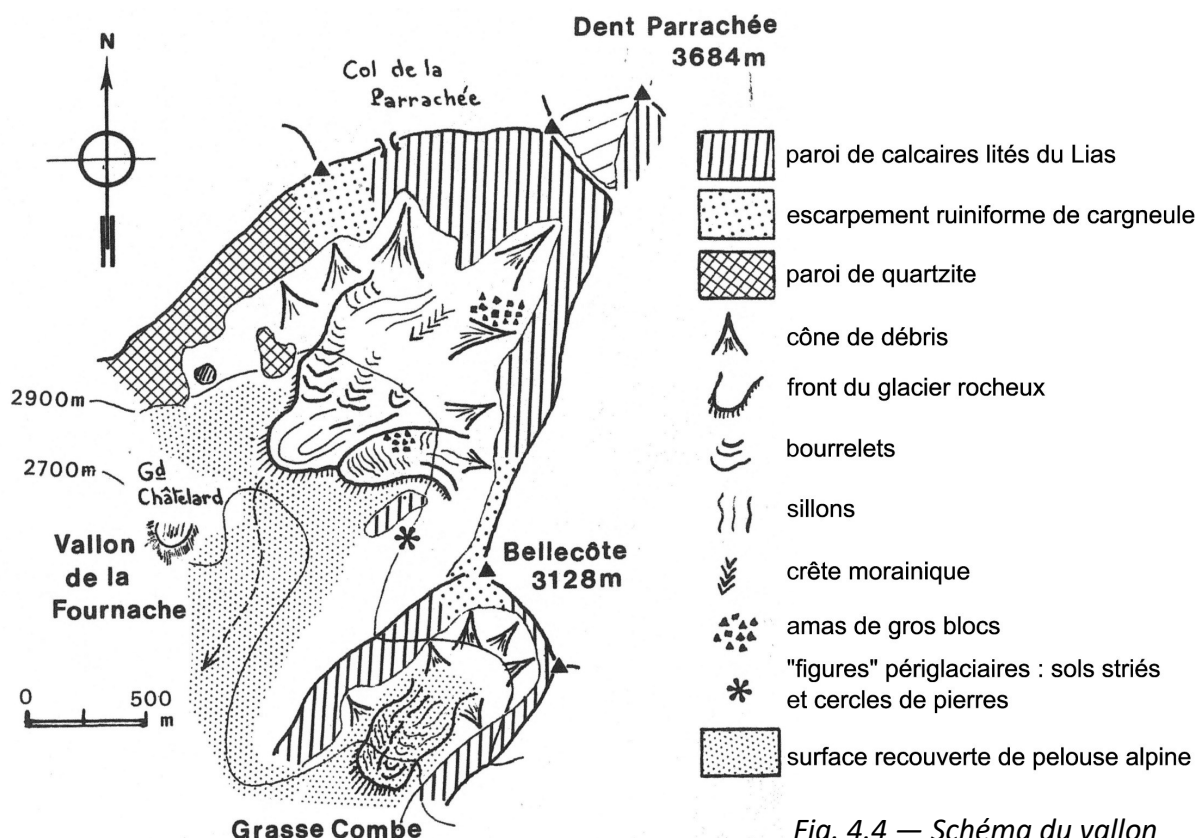


Fig. 4.4 — Schéma du vallon de la Fournache

A.MARNEZY, 1982.

Le Vallon de la Fournache. Un épais glacier rocheux, modelé de bourrelets et de sillons, s'est formé au pied des parois déchiquetées de la Dent Parrachée ; une petite langue affluente descend des crêtes de Bellecôte. Un autre glacier rocheux, probablement plus ancien, recouvert de pelouse, se niche dans le cirque Sud Est de Bellecôte.



Fig. 4.5 — Le glacier rocheux de la Fournache

A.MARNEZY, 1982.

Le glacier rocheux de la Fournache, vu de Bellecôte. Masse sombre de pierrailles recouvrant les résidus d'un glacier (du XIX^e siècle ?). Un lent déplacement vers l'aval a déterminé la création de bourrelets et de sillons à sa surface. Le front, sous l'effet de la poussée, se maintient raide ; des traces noirâtres trahissent les suintements issus de la fusion interne (Cliché Alain Marnezy).

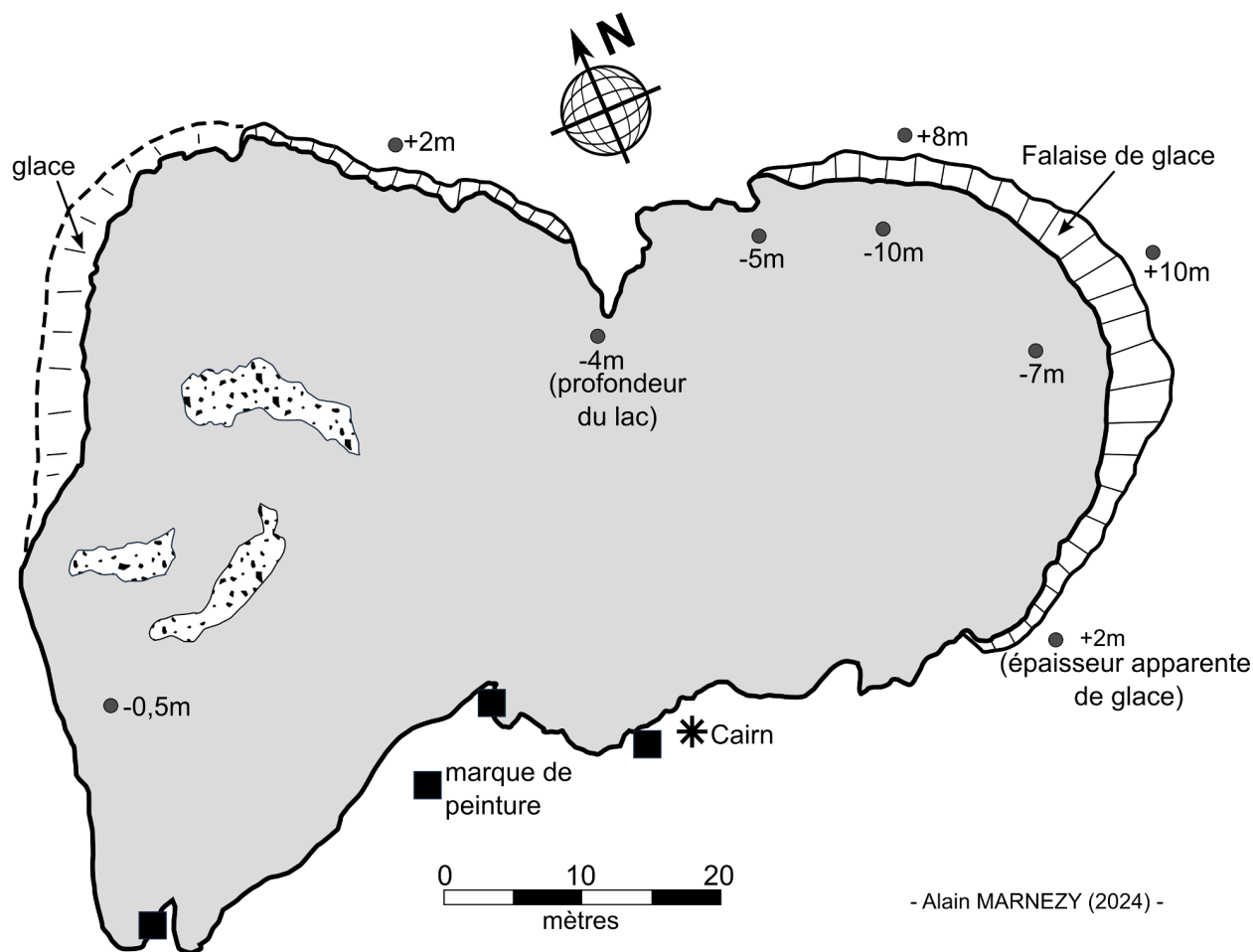


Fig. 4.6 — Lac de la Fournache. Situation en été 2023

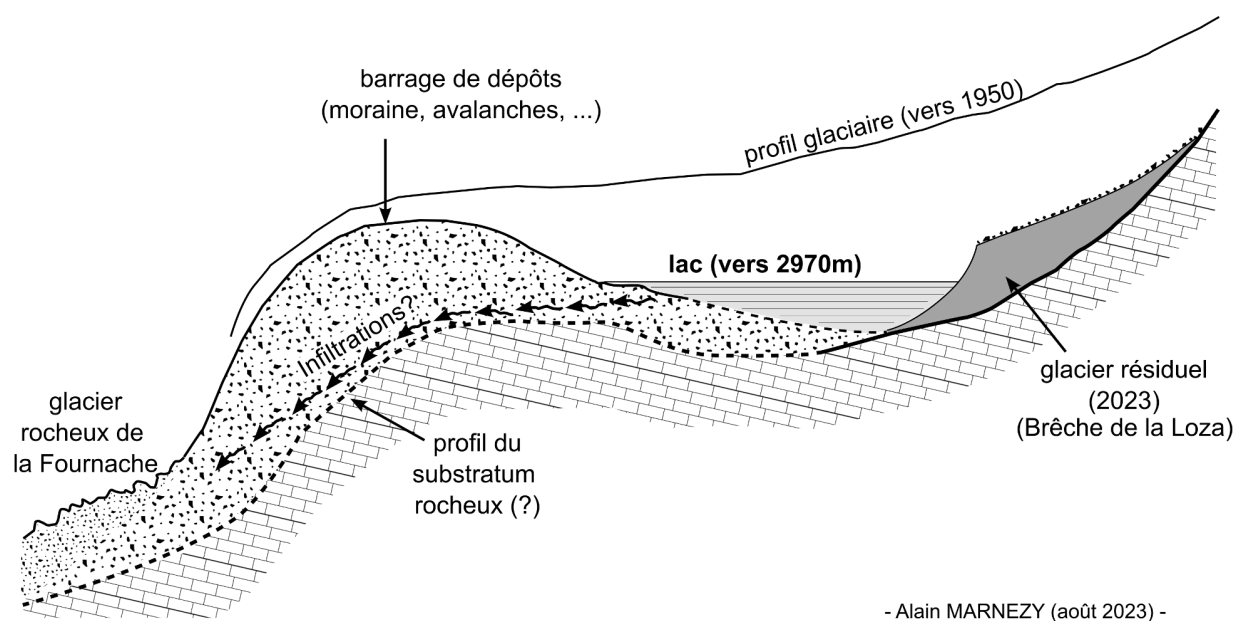


Fig. 4.7 — Lac de la Fournache (2023). Schéma d'interprétation

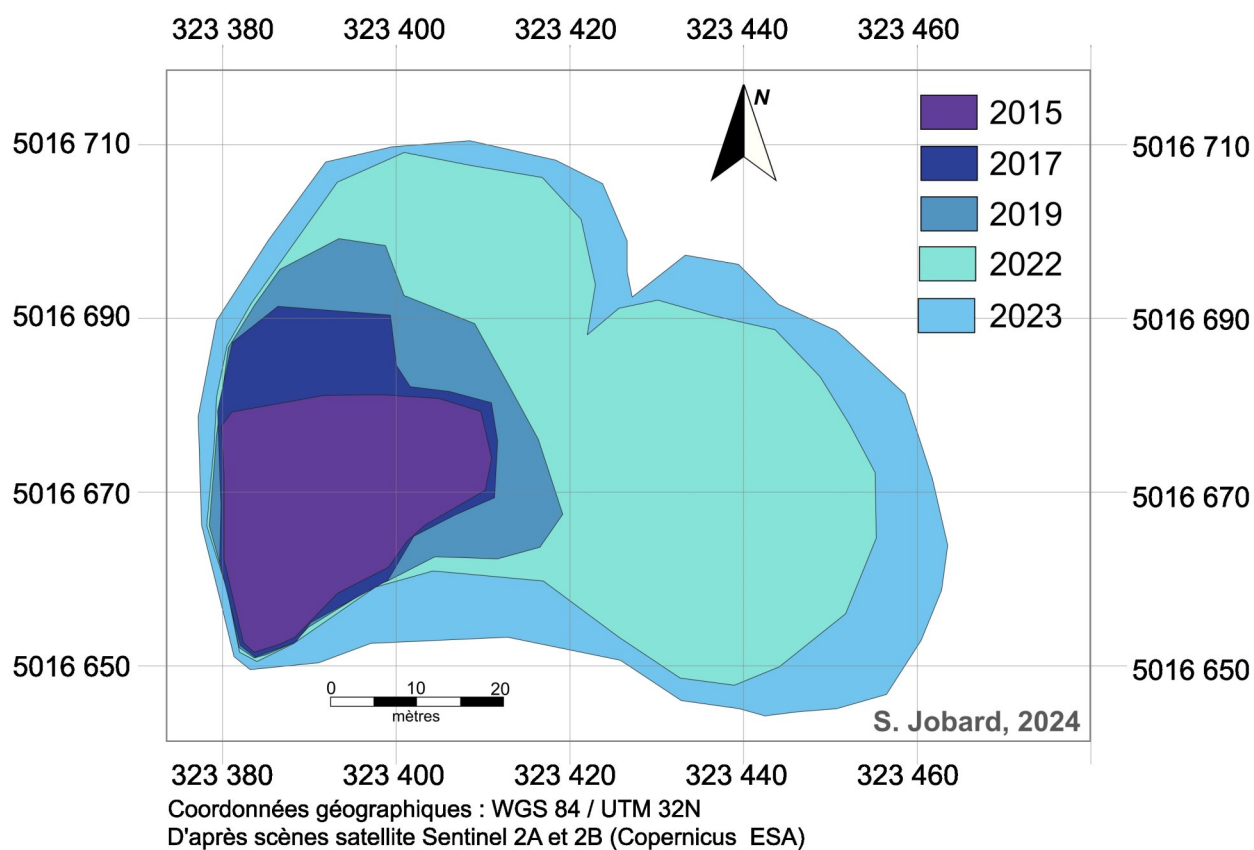


Fig. 4.8 — Carte de l'évolution du lac proglaciaire de la Fournache

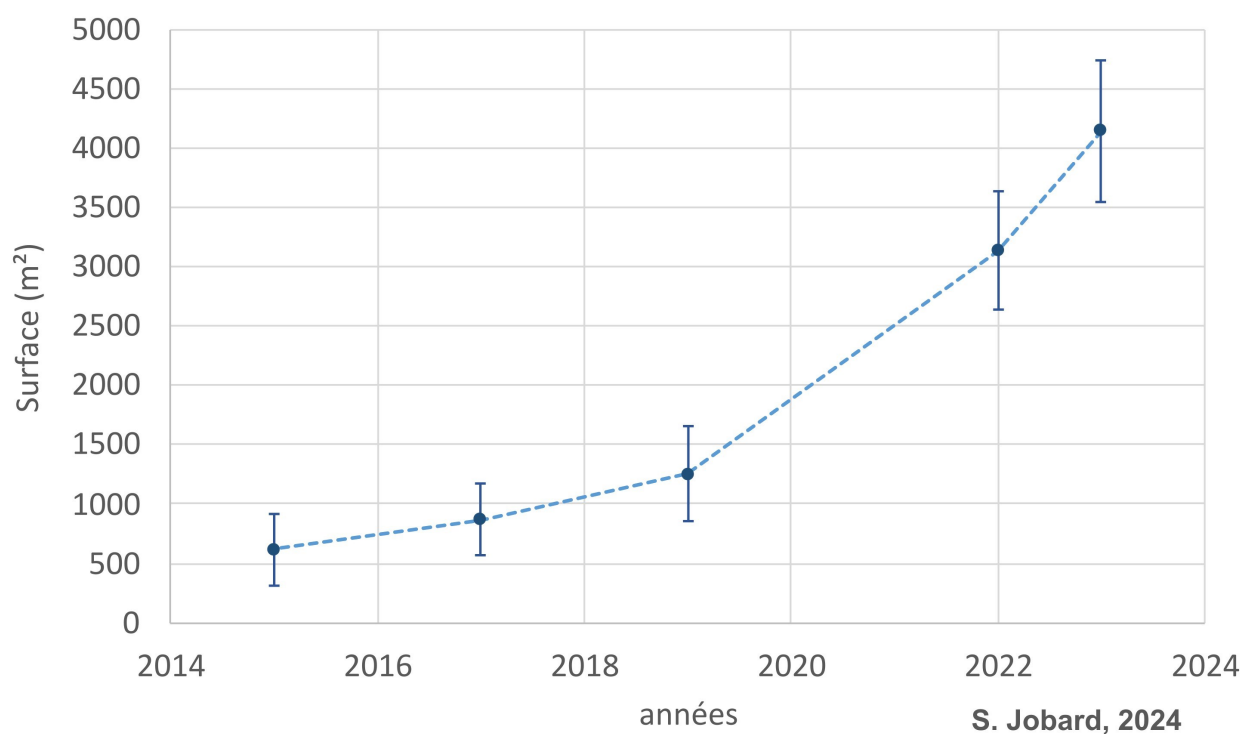
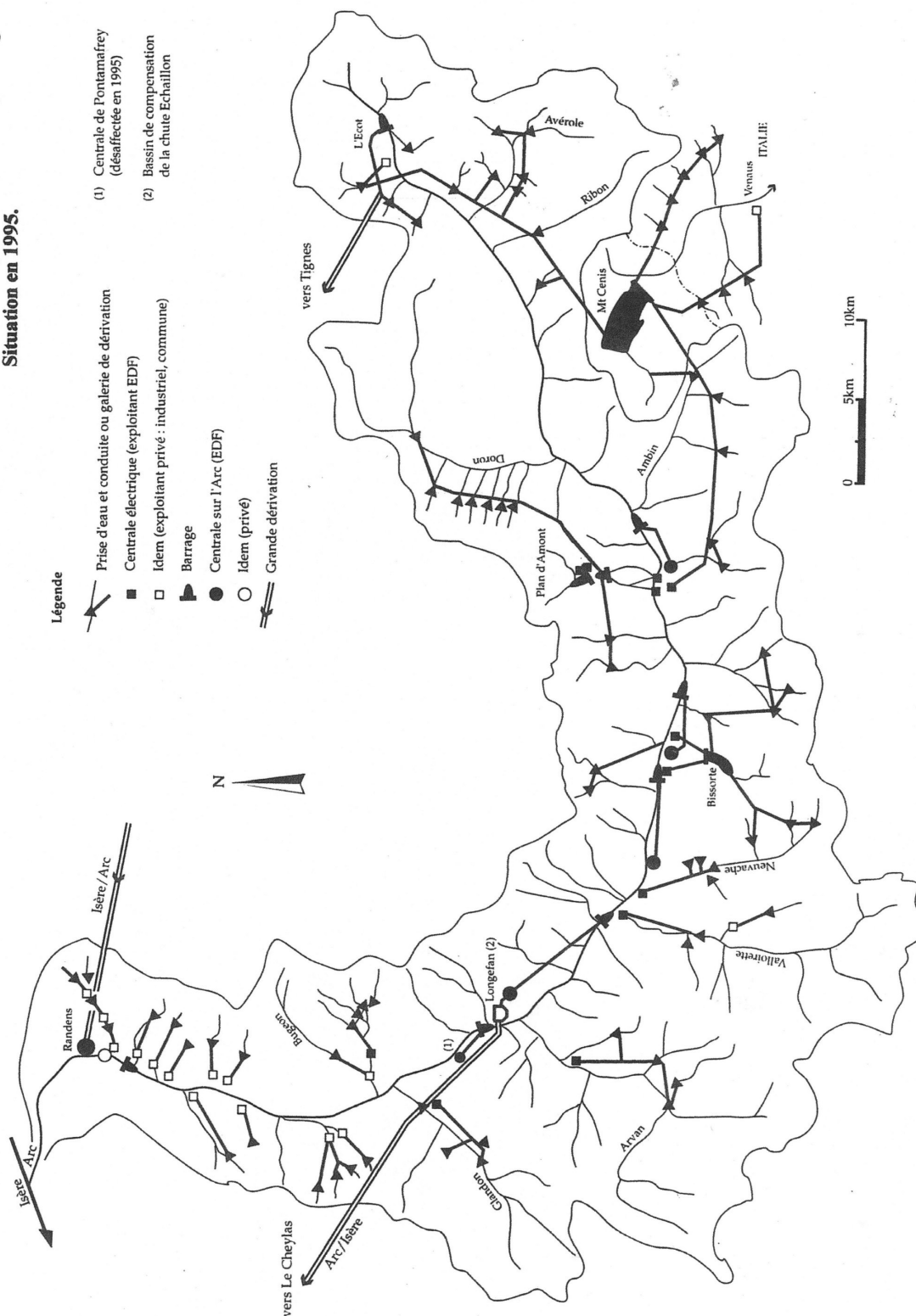


Fig. 4.9 — Variations de surface du lac proglaciaire de la Fournache

5- Hydroélectricité et colmatage sédimentaire d'origine glaciaire

Les aménagements hydroélectriques en Maurienne, carte générale. Situation en 1995.



A. MARNEZY. 1999

*Fig. 5.1 — Les aménagements hydroélectriques en Maurienne, carte générale.
Situation en 1995*

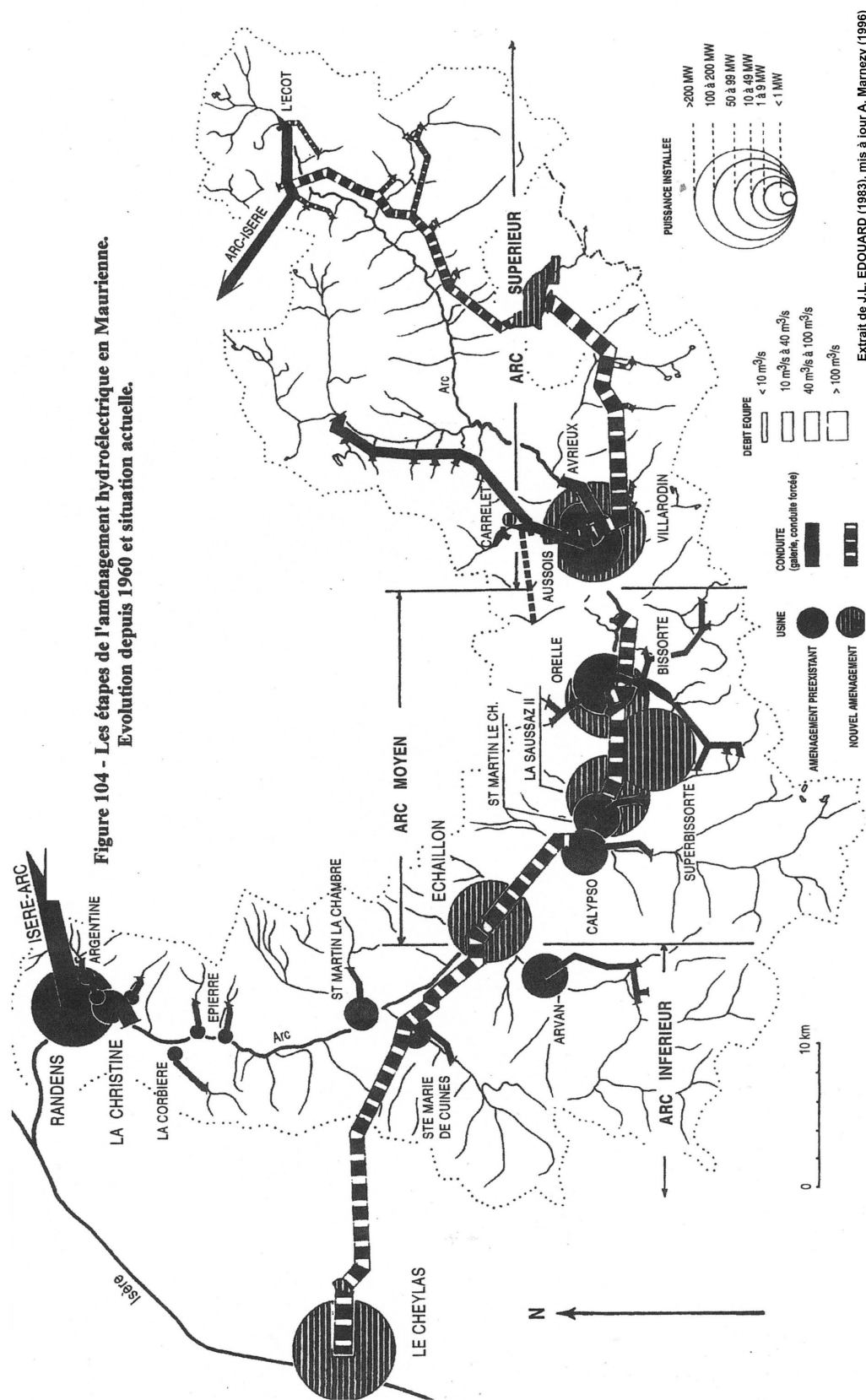


Fig. 5.2 — Les étapes de l'aménagement hydroélectrique en Maurienne.
Evolution depuis 1960 et situation actuelle

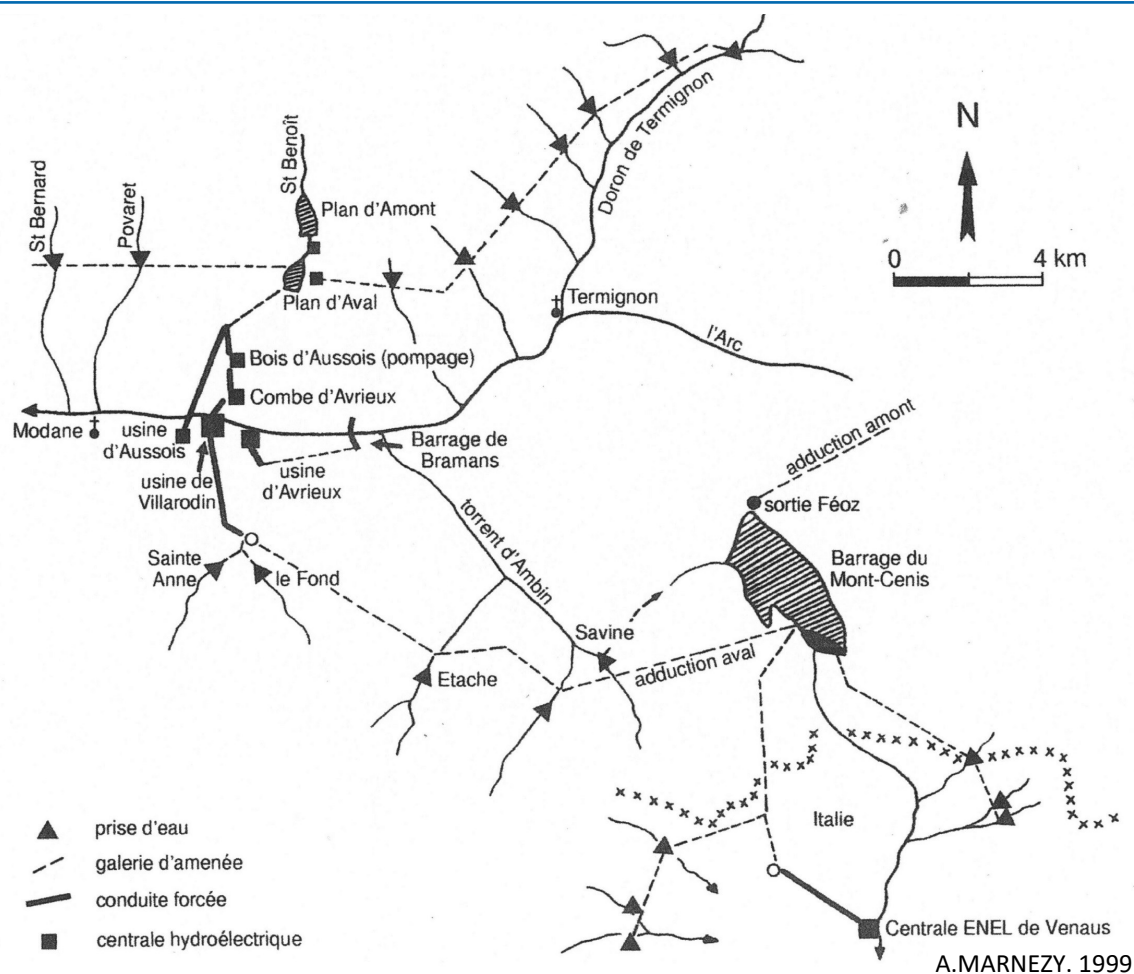


Fig. 5.3 — Le complexe Mont-Cenis / barrages d'Aussois. Plan de Situation.

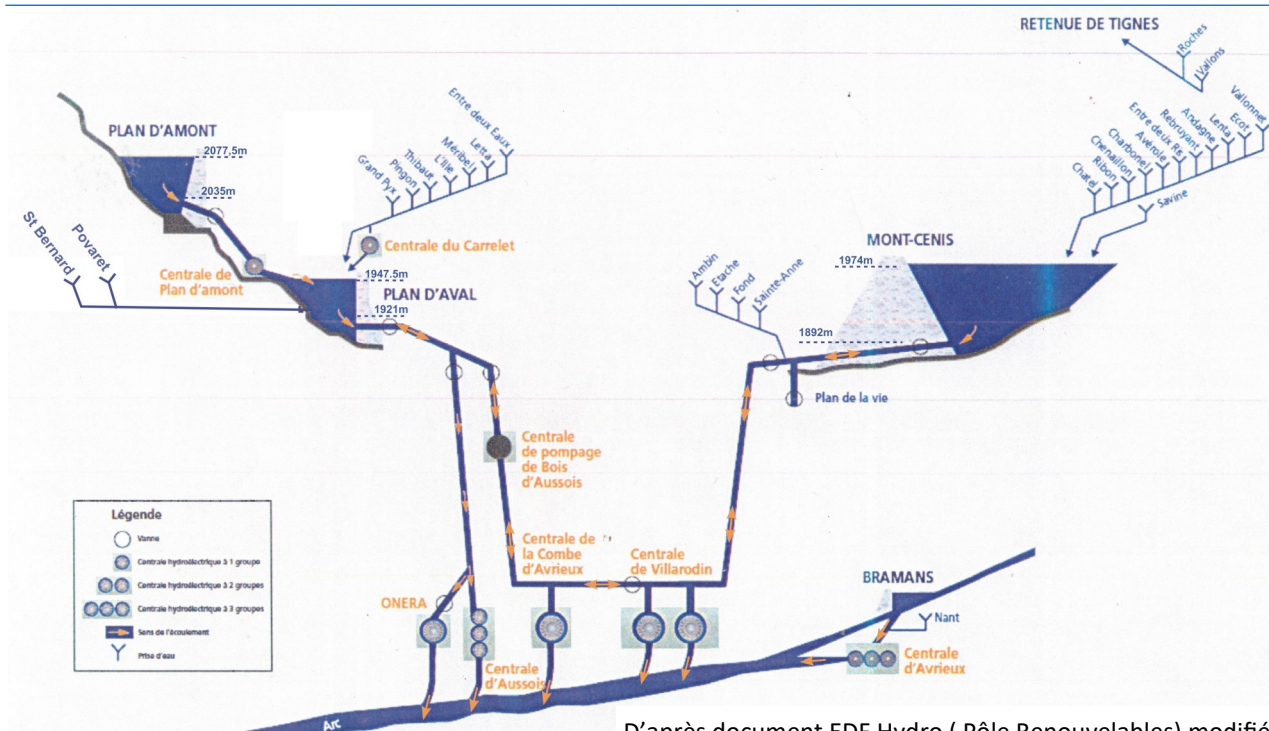
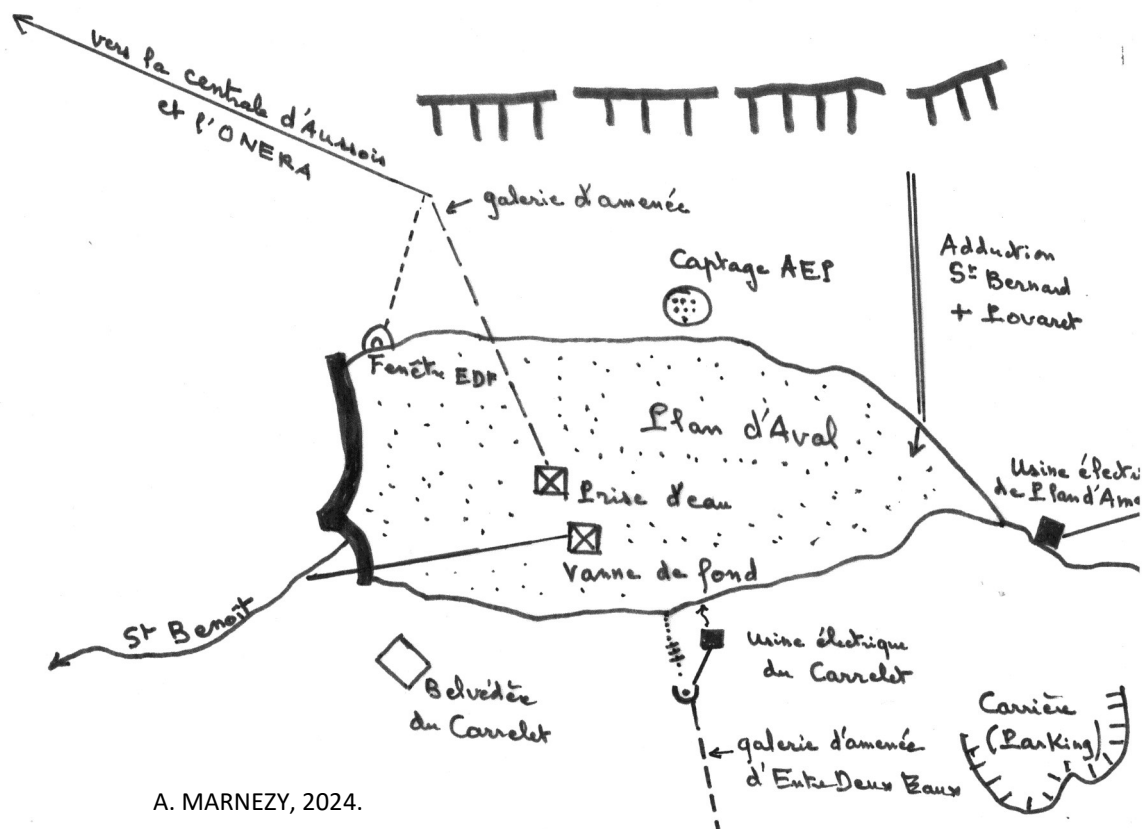


Fig. 5.4 — Schéma de fonctionnement du complexe hydroélectrique Mont-Cenis / barrages d'Aussois.



A. MARNEZY, 2024.

Fig. 5.5 — Le barrage de Plan d'Aval et ses équipements

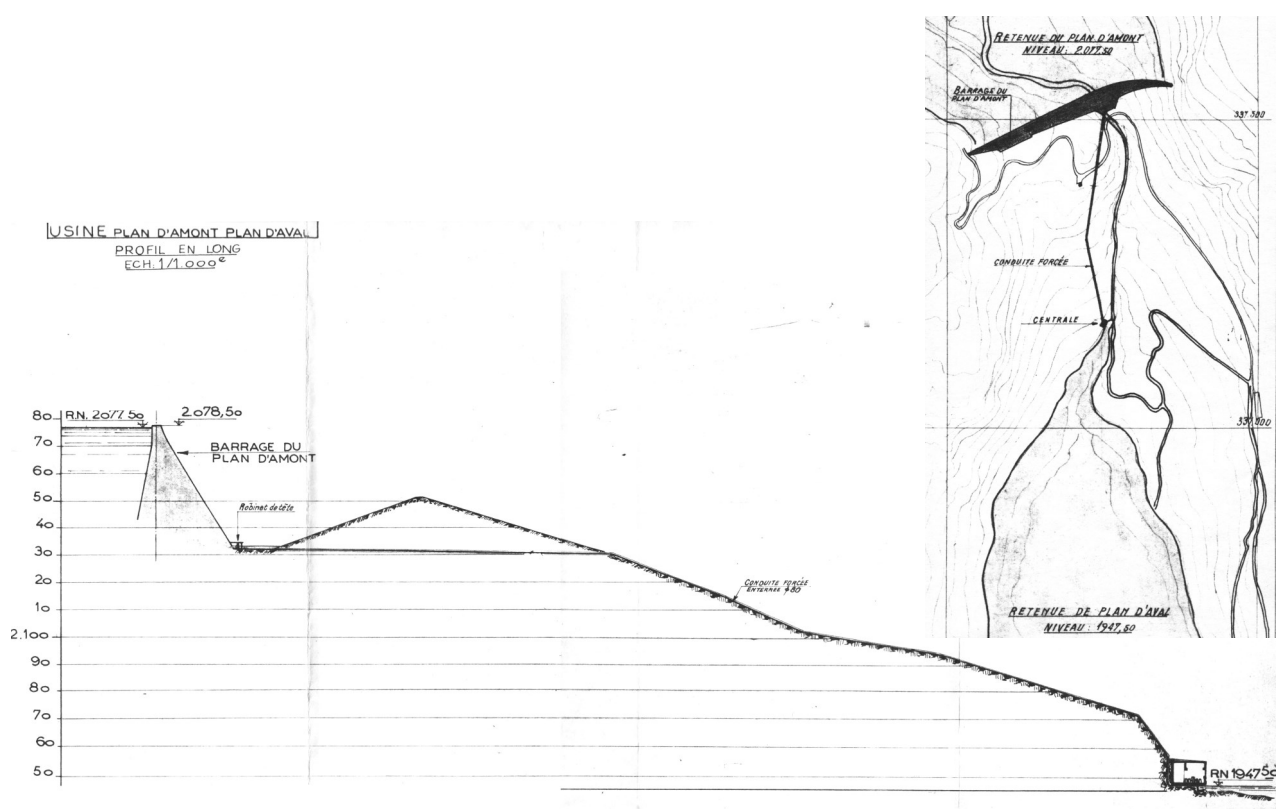


Fig. 5.6 — Usine hydroélectrique de Plan d'Amont-Plan d'Aval

Documents EDF, 1953.

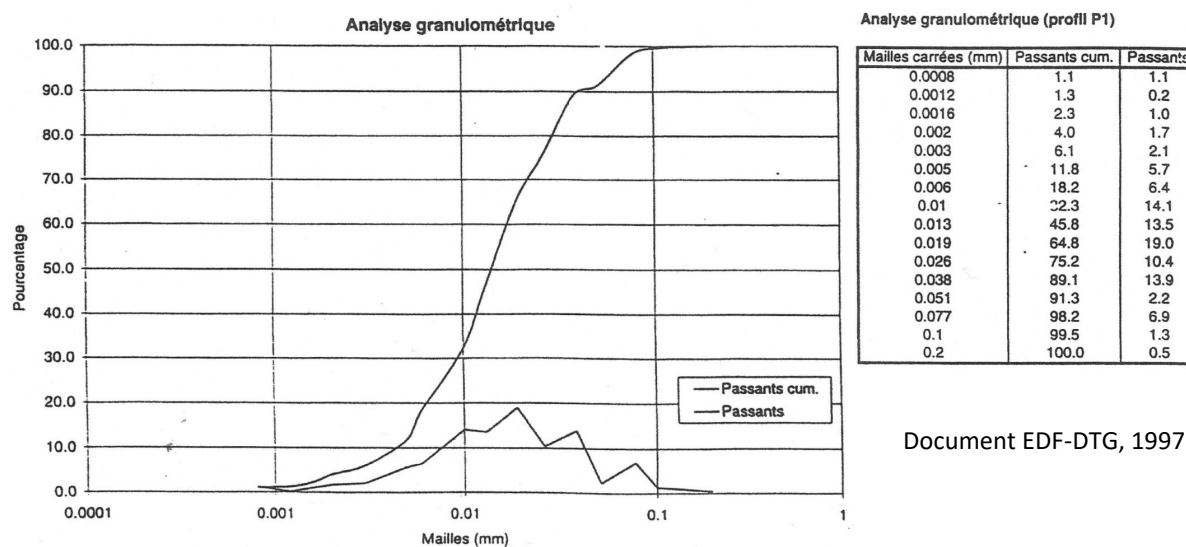


Fig. 5.7— Analyse granulométrique des dépôts de la retenue de Plan d'Aval.

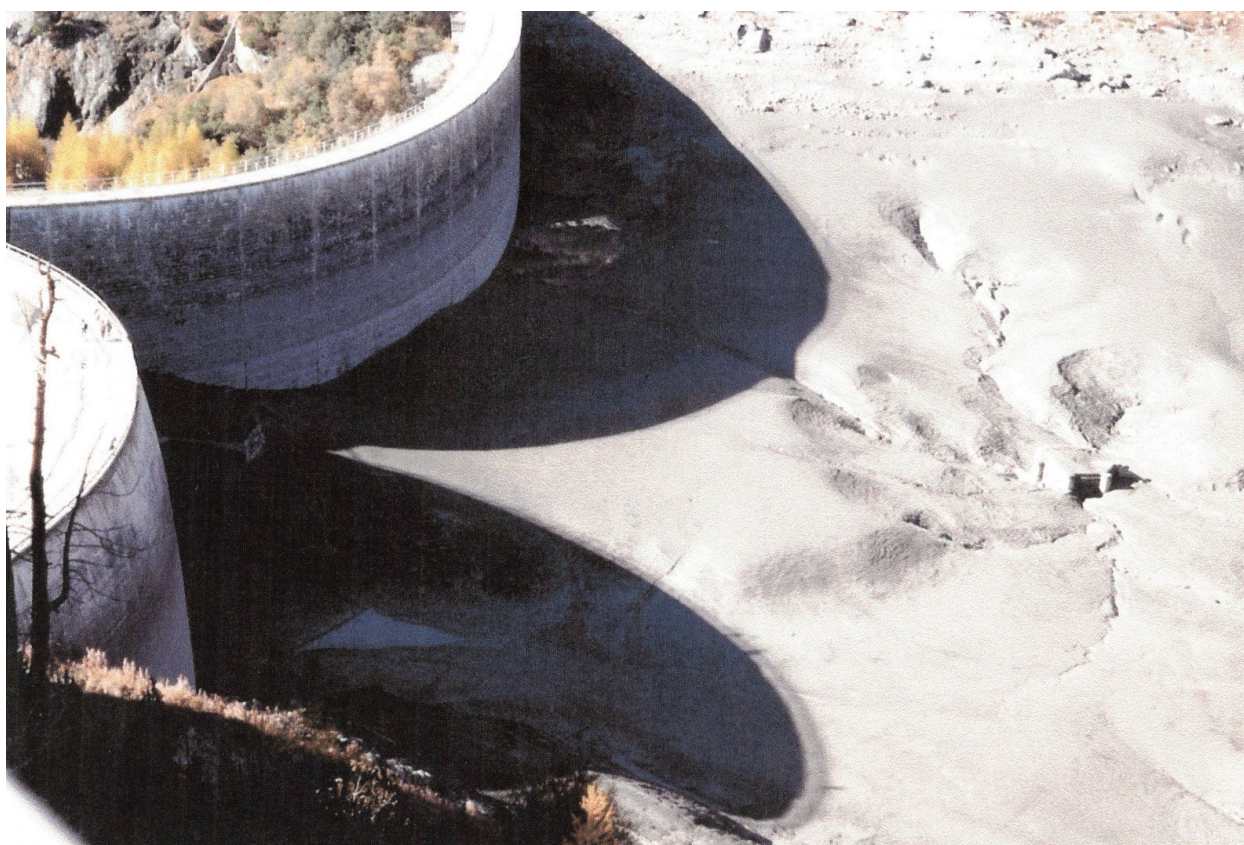
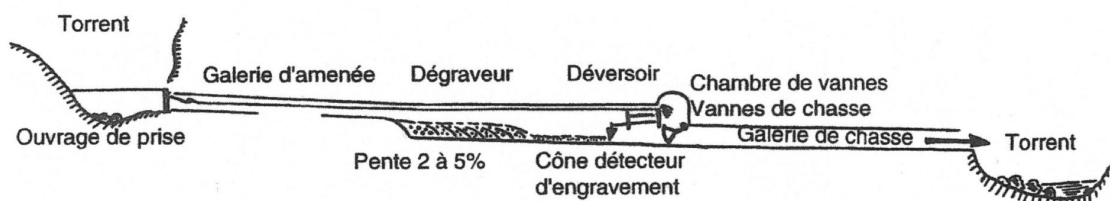


Fig. 5.8 — La retenue du Plan d'Aval (Commune d'Aussois) lors de la vidange décennale de sécurité, automne 1997

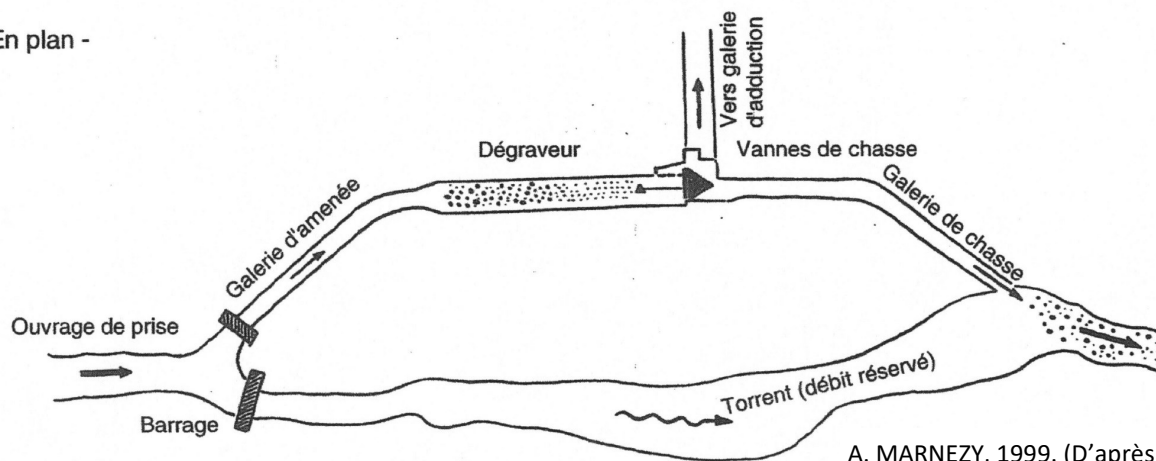
Accumulation de vase en provenance, pour l'essentiel, de la dérivation du Doron de Termignon (captage des torrents glaciaires du massif de la Vanoise). A droite, la vanne de fond permettant la vidange.

(Photo A.MARNEZY. 1997)

- En coupe -

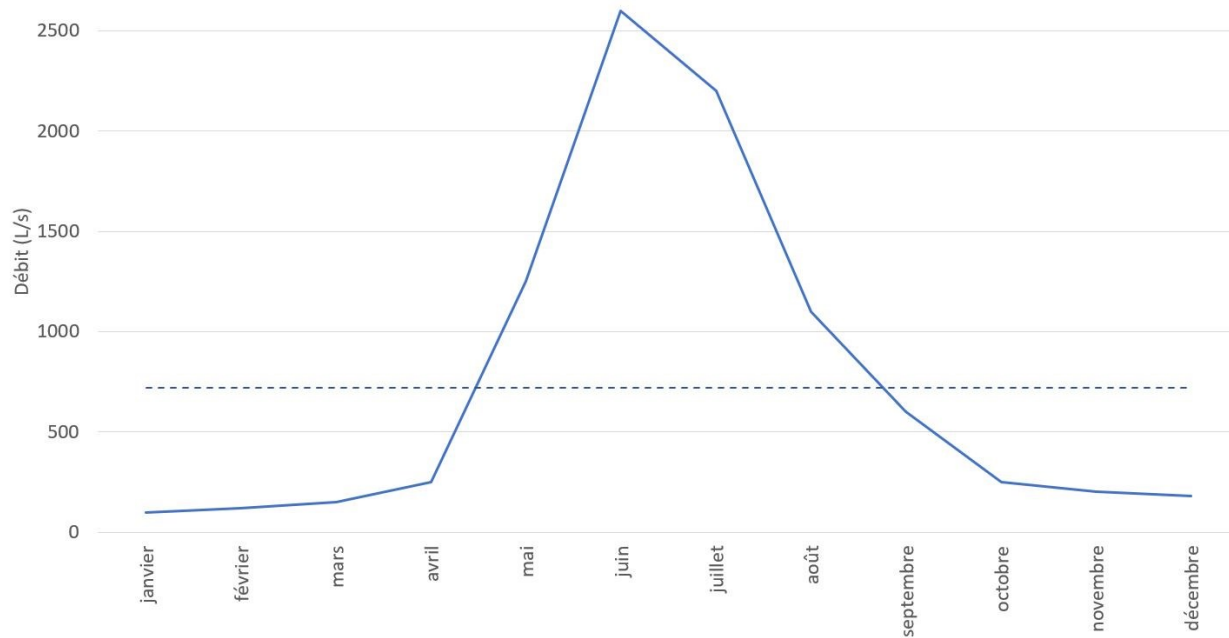


- En plan -



A. MARNEZY, 1999. (D'après EDF)

Fig. 5.9 — Schéma d'une prise d'eau automatique sur les torrents.



D'après données EDF

Fig. 5.10 — Débits moyens mensuels du ruisseau de St Benoît (au Plan d'Amont) - (1956 - 1980)

Vue dans les eaux de plan d'Aval à Aussois... Nessie... la créature sub-électronique

Depuis le mois de juillet, une créature a élu domicile au Plan d'Aval d'Aussois : NESSIE®. Contrairement aux légendes, celle-ci existe bien, elle est faite d'électronique et de capteurs. Ce robot subaquatique, développé par EDF et WATERTRACKS®, est le plus souvent immergé. Il ne sort de l'eau que 2 jours par semaine lors de sa maintenance. Sa mission est d'aspirer près de 15 000 m³ de sédiments ciblés près de la tour de vidange de fond de la retenue. Les sédiments sont une matière naturelle, provenant de la roche des montagnes, transportés par les ruisseaux de l'amont vers l'aval et qui s'accumulent dans les retenues. L'enjeu est de sécuriser cette vanne afin d'éviter un colmatage lors d'une vidange ou en cas d'urgence.

Pendant ce temps-là, les centrales turbinent

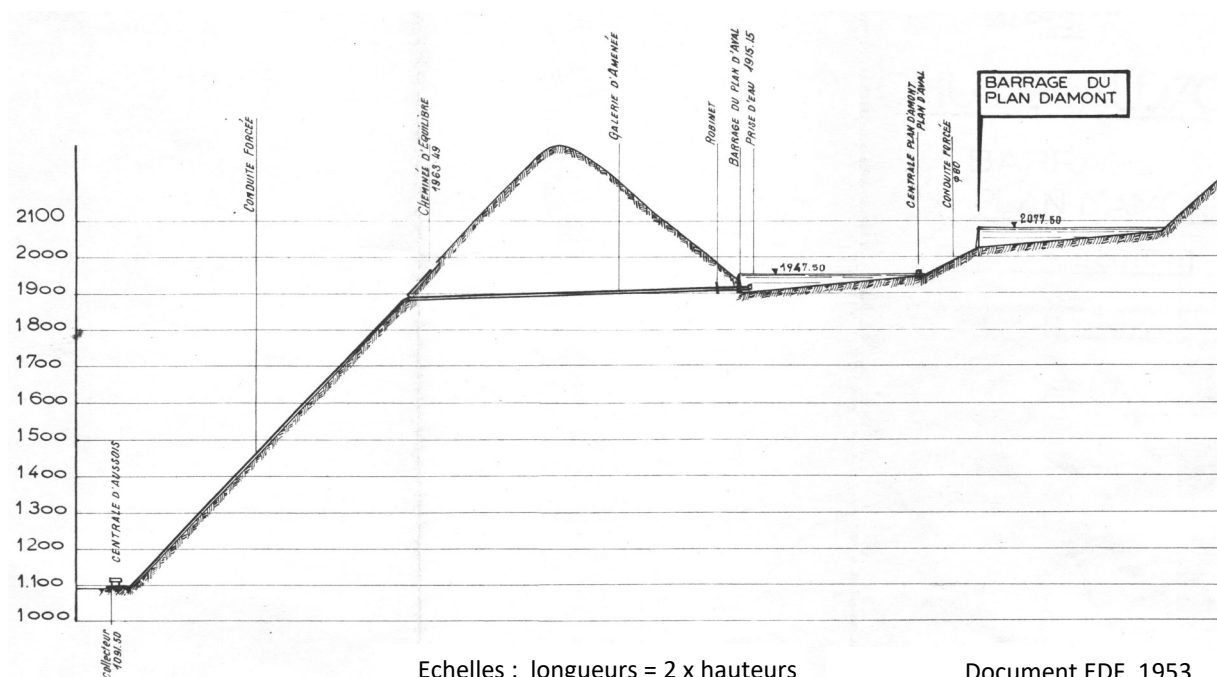
L'utilisation de NESSIE® permet de ne pas vider le barrage durant l'opération et donc aux centrales de continuer à tourner. Dirigé depuis le poste de pilotage, il doit par endroit retirer 30 cm de sédiments. Sa capacité étant de 5 cm, il lui faut faire plusieurs passages pour parvenir aux côtes cibles. Avec un avancement de 10 cm/s, l'intervention va durer jusqu'en septembre. Les sédiments aspirés sont ensuite amenés via les canalisations jusqu'à un groupe de production de l'usine d'Aussois pour être turbinés et dilués avant d'être restitués à l'Arc. Olivier Gonzalez, chargé d'opérations génie civil, explique que



le taux de sédiments est maîtrisé tout le long du processus avec des capteurs embarqués sur NESSIE®, au niveau du canal de fuite vers l'usine d'Aussois et dans la conduite vers l'Arc.

Camille HAULET
NESSIE® (New Environmental System for Sediment Innovative Evacuation)

Fig. 5.11 — Le robot NESSIE



Document EDF, 1953.

Fig. 5.12 — Profil en long de la chute d'Aussois

CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

BASSIN VERSANT : 20 Km² 600
 APPORTS ANNUELS : 21.500.000 m³
 CAPACITE DE LA RETENUE A LA COTE 2.077,50 : 8.000.000 m³
 PRODUCTION D'HIVER SUPPLEMENTAIRE DUE A LA RETENUE DE PLAN D'AMONT : 22.800.000 kwh

BARRAGE - TYPE POIDS EVIDE -

VOLUME DES MACONNERIES 115.000 m³
 VIDANGES : PRINCIPALE - CONDUITE ϕ 1^m
 ROBINET A JET CREUX ϕ 1^m 10
 SECONDAIRE - CONDUITE ϕ 0^m 70
 ROBINET PAPILLON ϕ 0^m 60

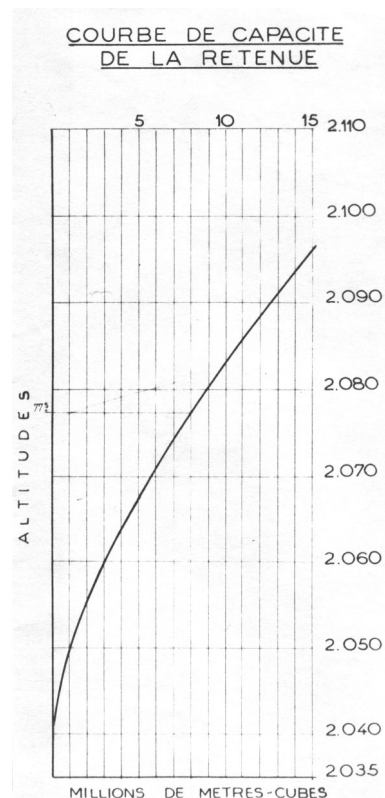
DEBIT MAXIMUM DES VIDANGES :
 PRINCIPAL 16 m³/sec.
 SECONDAIRE 5 m³/sec.
 TOTAL 21 m³/sec.

TEMPS DE VIDANGE : 6 a 7 JOURS SUIVANT APPORTS

EVACUEUR DE CRUE : DEBIT 63 m³ PAR DEVERSOIR DE SURFACE DE 63 m 80 DE LARGEUR

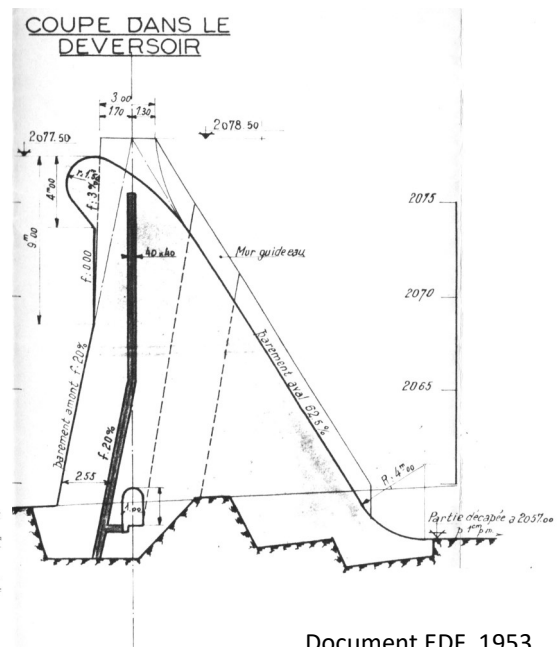
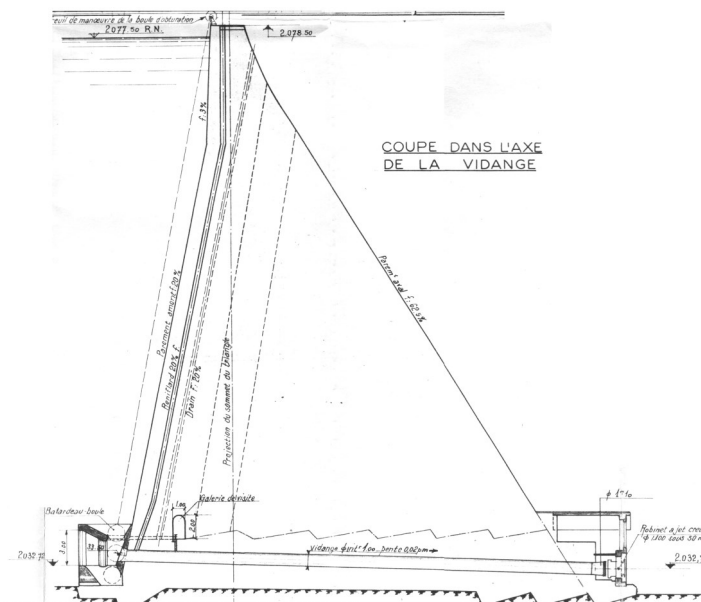
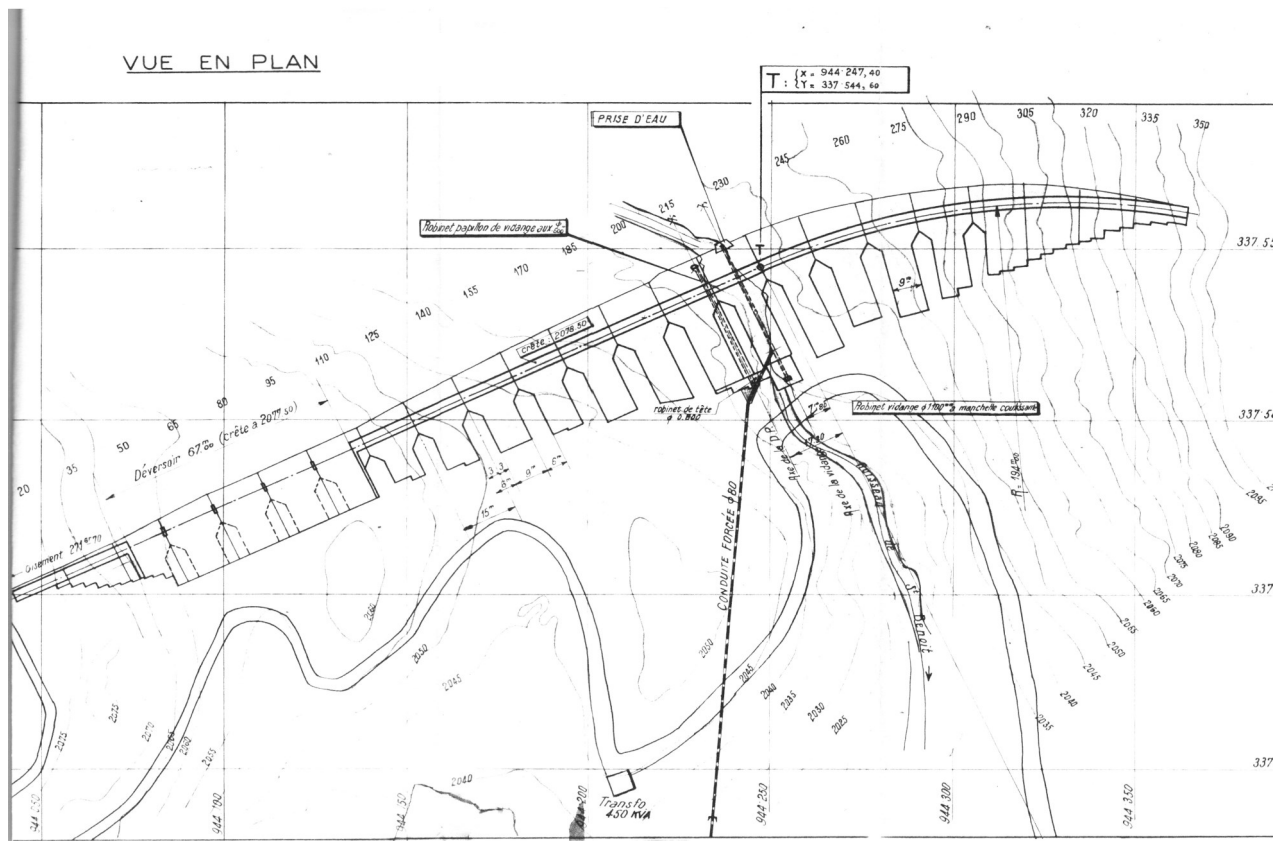
CENTRALE D'UTILISATION de la Chute Plan d'Amont/ Plan d'Aval au niveau de la retenue de Plan d'Aval

DEBIT D'AMENAGEMENT 2 m³/sec.
 HAUTEUR DE CHUTE MAXIMUM 130 m.
 CONDUITE FORCEE ENTERREE ϕ 0,80
 UN GROUPE TURBINE ALTERNATEUR DE 2 600 KVA
 PRODUCTION de l'usine PLAN D'AMONT : 5,5 MKwh
 " 33^{ème} sur USINES AVAL : 22,8 MKwh
 " NOUVELLE : 28,3 MKwh
 PUISSANCE GARANTIE NOUVELLE : 13.400 Kw
 " DE POINTE : 26.600 Kw



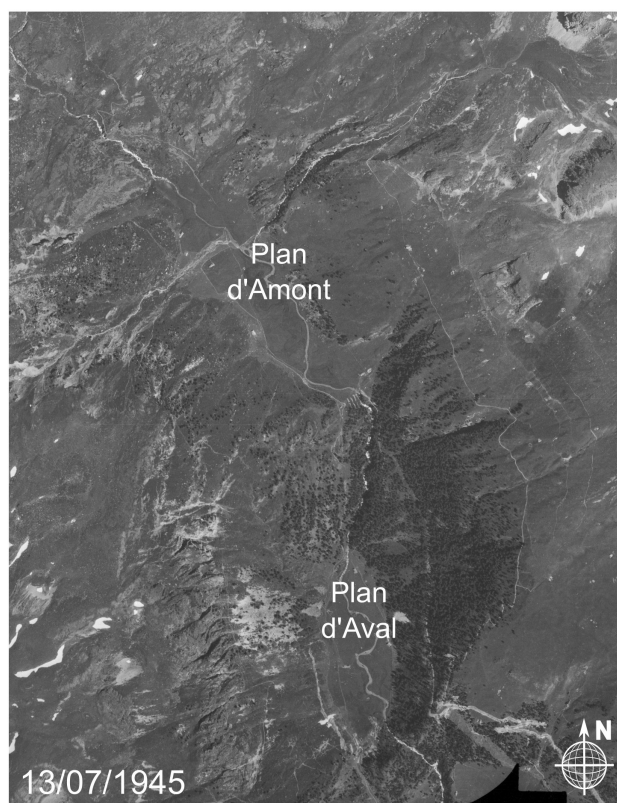
Documents EDF, 1953.

Fig. 5.13 — Caractéristiques du barrage de Plan d'Amont



Document EDF, 1953.

Fig. 5.14 — Vue en plan et en coupes du barrage de Plan d'Amont



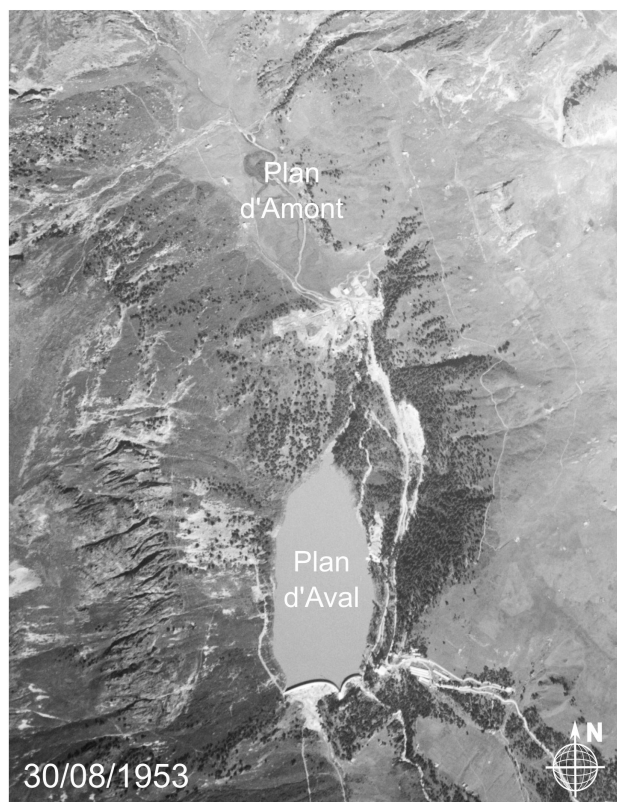
*Fig. 5.15 — Photos aériennes
historiques et actuelle des barrages
d'Aussois*

Photographies aériennes IGN

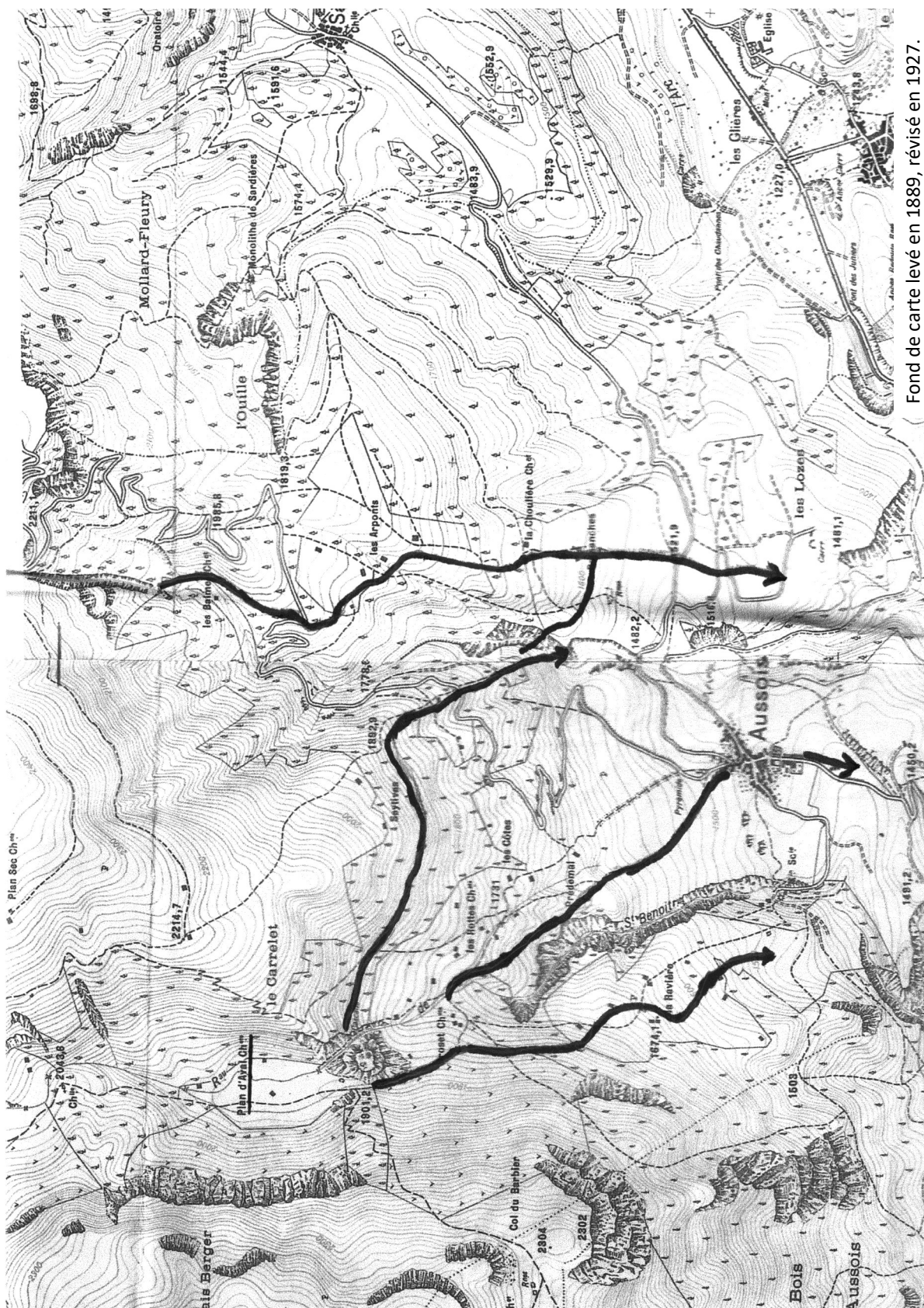
1945 : IGNF_PVA_1-0__1945-07-13__C3840-0101_1945_MISSIONALPES13_5024

1953 : IGNF_PVA_1-0__1952-08-22__C3534-0091_1952_F3534_0008

2022 : Capture d'écran Géoportail (<https://www.geoportail.gouv.fr/>)



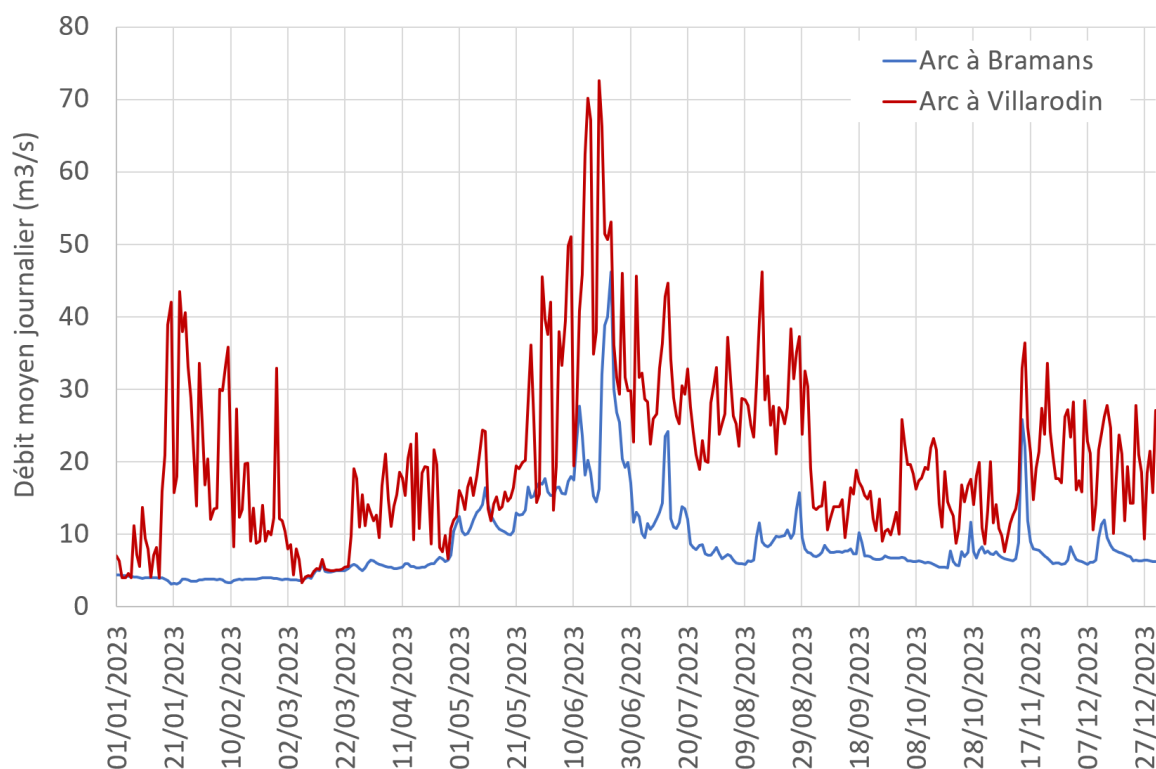
6- Usages locaux de l'eau (Aussois et alentours)



Fond de carte levé en 1889, révisé en 1927.

Fig. 6.1— Réseau d'irrigation traditionnel.

Principaux canaux de dérivation des torrents du St Benoît et du St Pierre



D'après les données hydrologiques d'EDF

Fig. 6.2— Les débits moyens journaliers de l'Arc à Bramans et à Villarodin

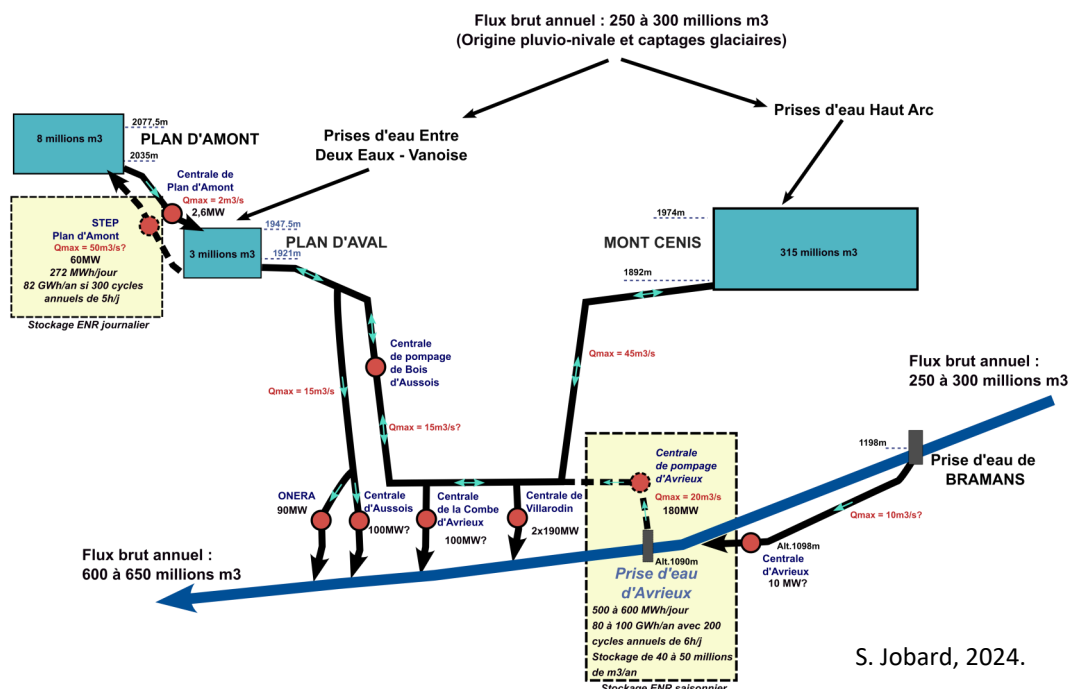


Fig. 6.3— Prospectives d'évolution du complexe hydro-électrique Mt Cenis-Aussois pour le stockage gravitaire

Ce système permettrait de stocker des excédents de production d'énergie renouvelable (grand éolien, photovoltaïque industriel), ou de production électro-nucléaire inutilisée

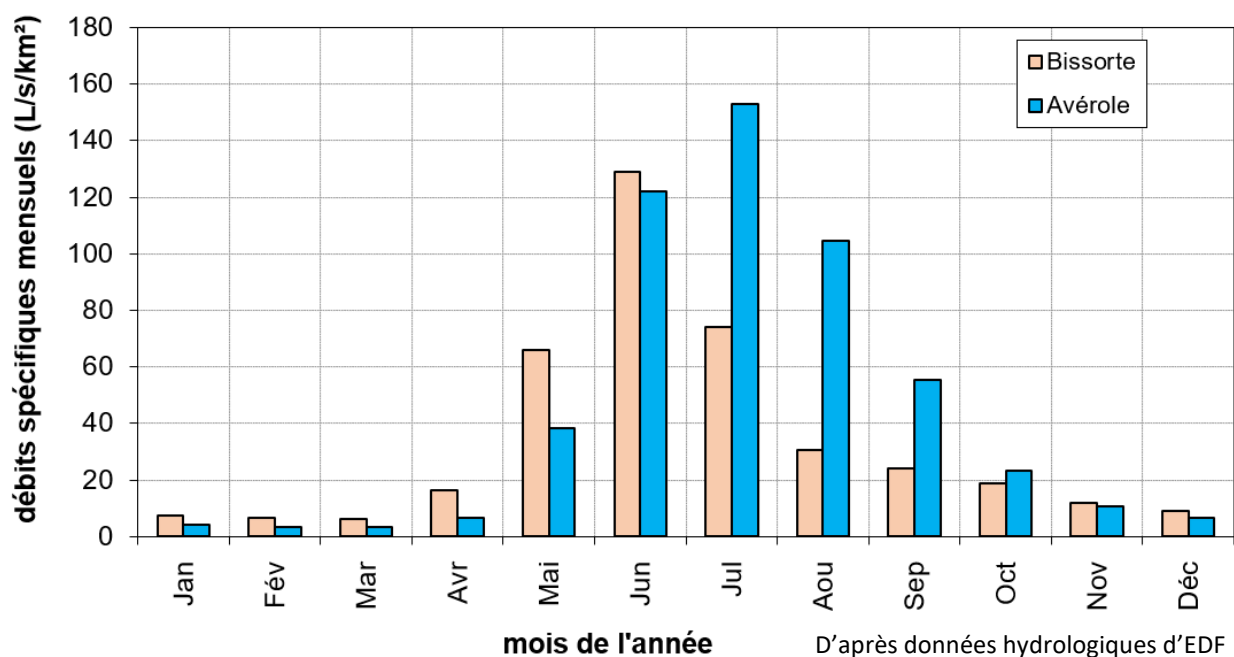


Fig. 6.4— Illustration des régimes hydrologiques nivo-glaciaire (Avérole) et nival pur (Bissorte)

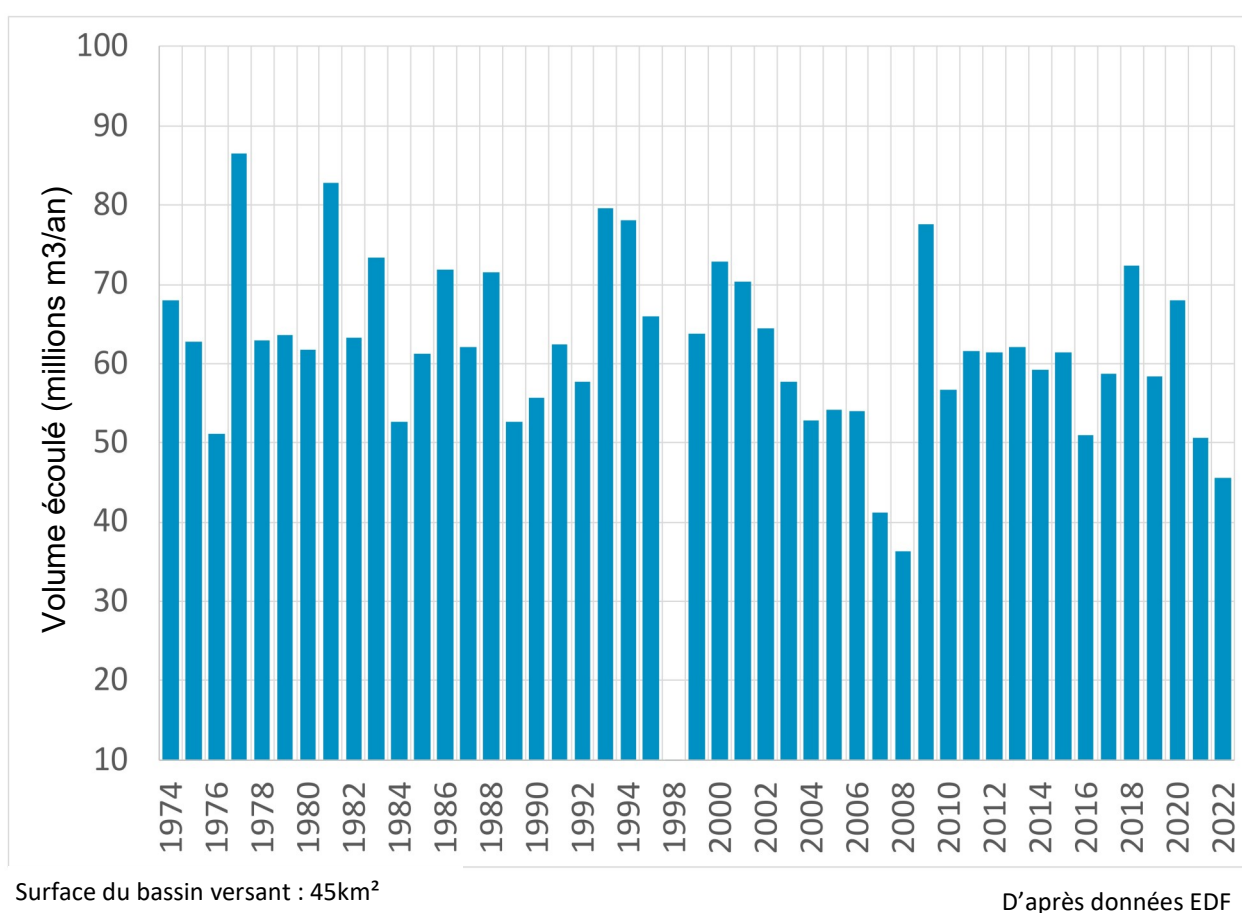


Fig. 6.5 - Débits annuels (volume écoulé reconstitué) à la prise d'eau d'Avérole.

7- Suivi glaciologique en Haute Maurienne

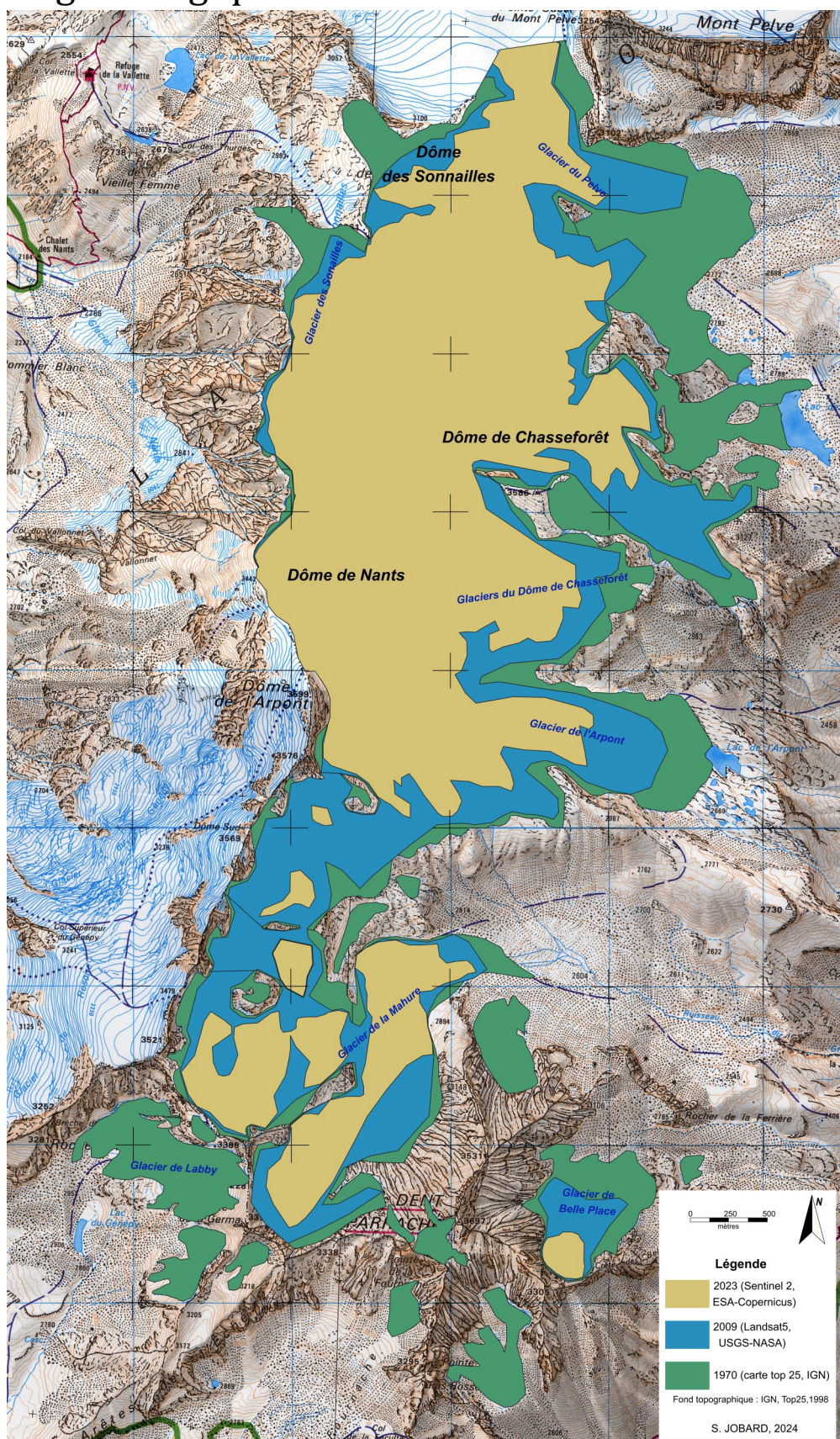


Fig. 7.1— Extensions des glaciers des Dômes de la Vanoise

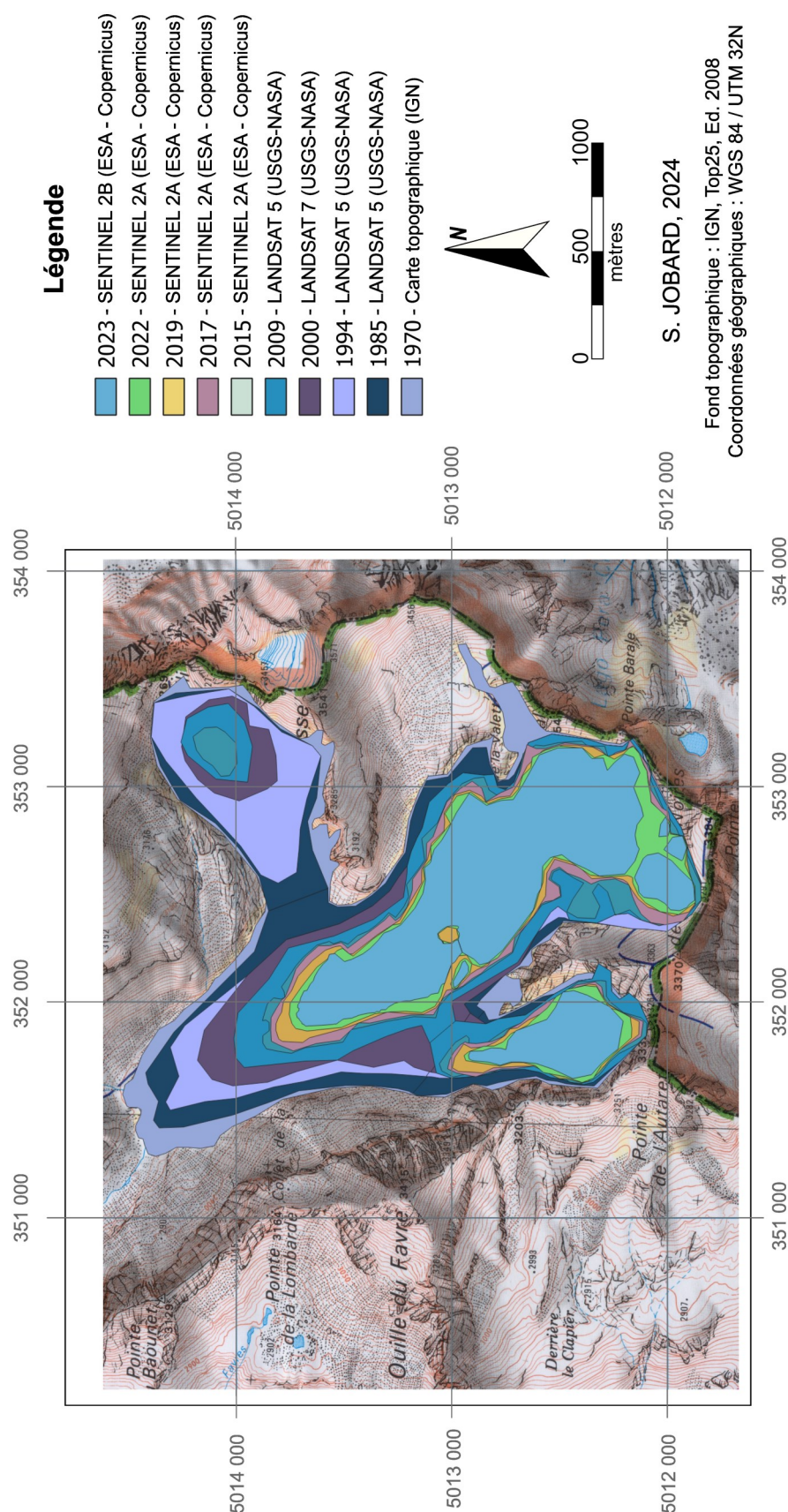


Fig. 7.2— Extensions du glacier du Baounet

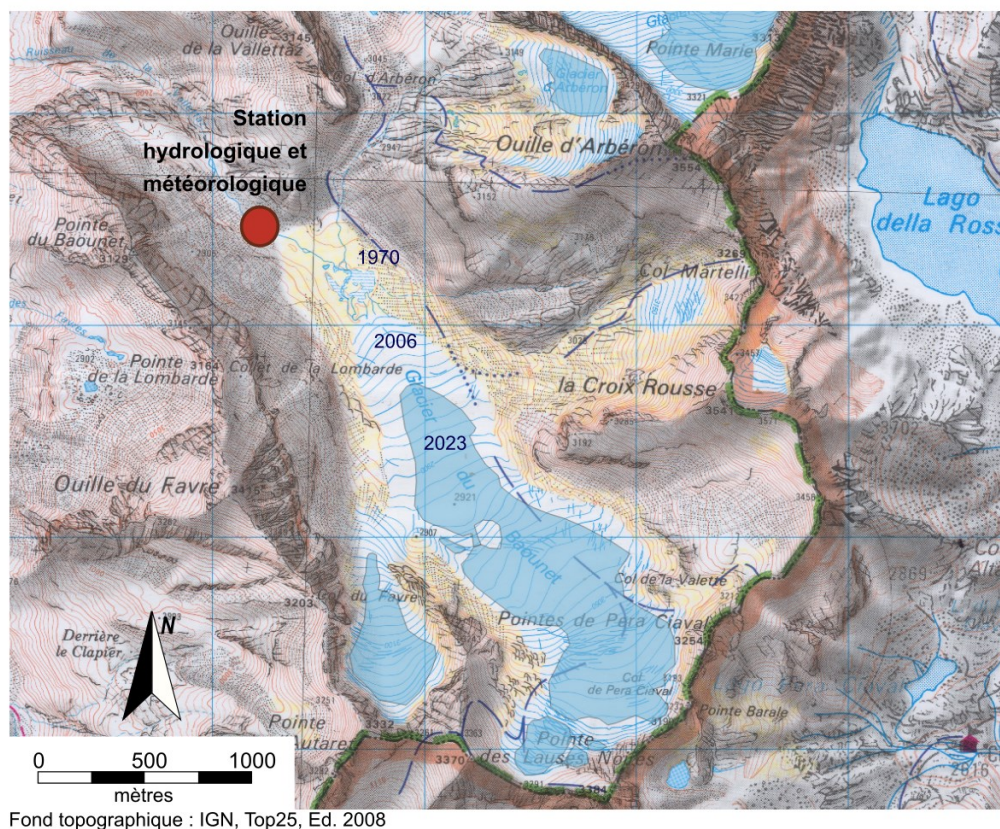
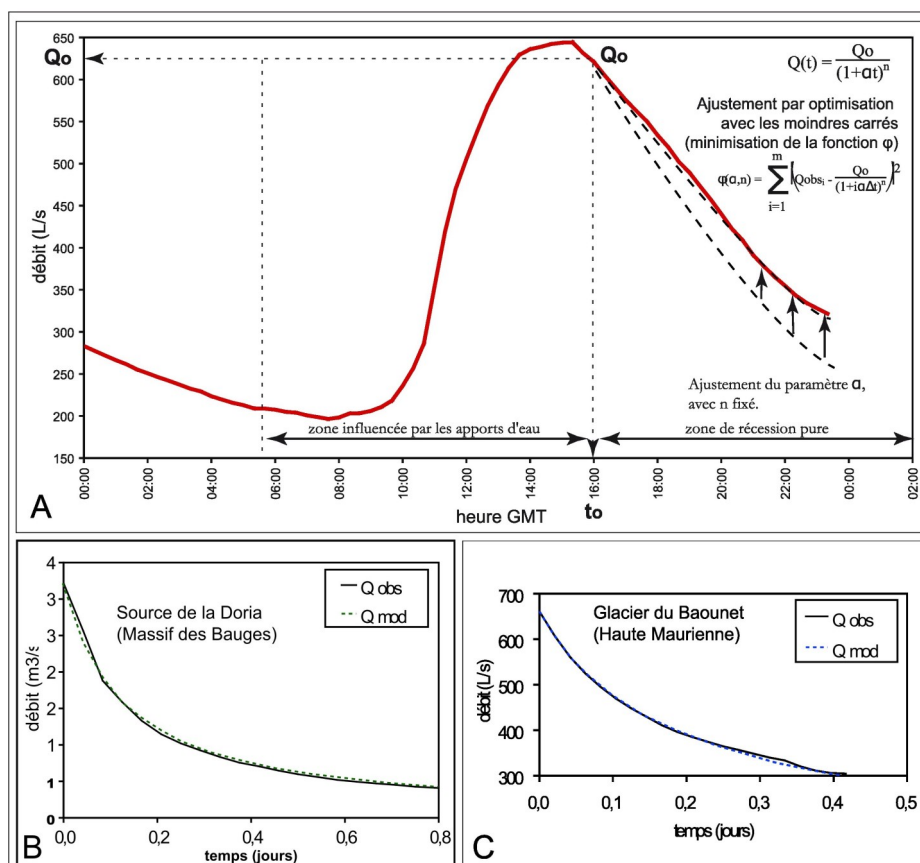


Fig. 7.3— Localisation de la station de mesure du glacier du Baounet



Jobard S., 2024.

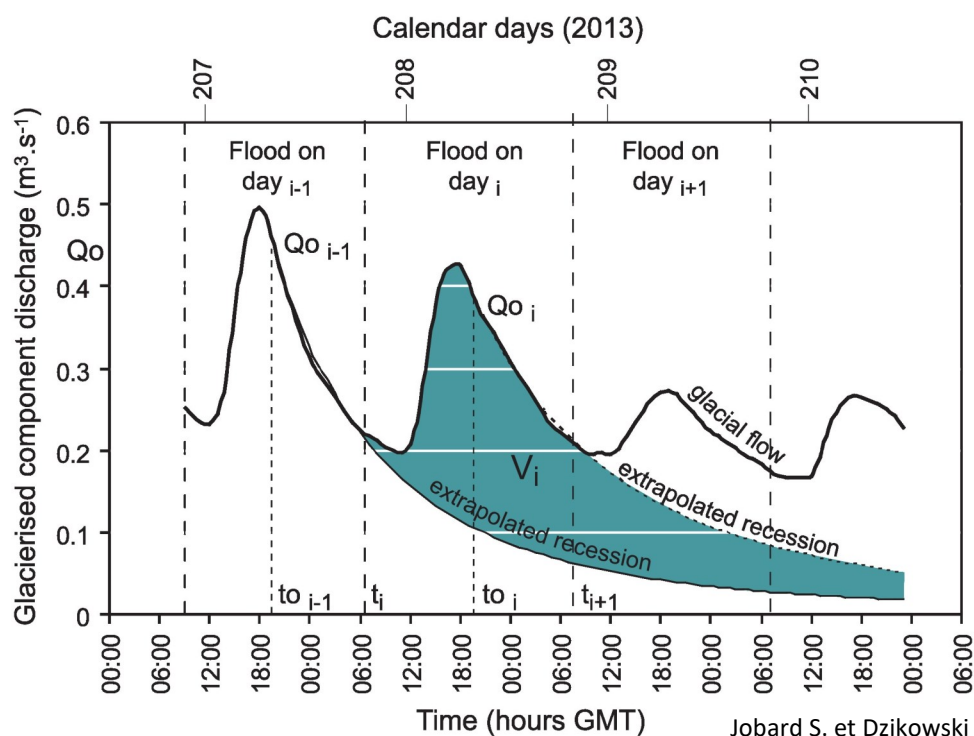
Fig. 7.4— Evolution de la station de mesure du glacier du Baounet



A: principe théorique; B: Exemple d'une courbe de récession sur la source karstique de la Doria; C: Exemple d'une courbe de récession sur le torrent émissaire du glacier du Baounet

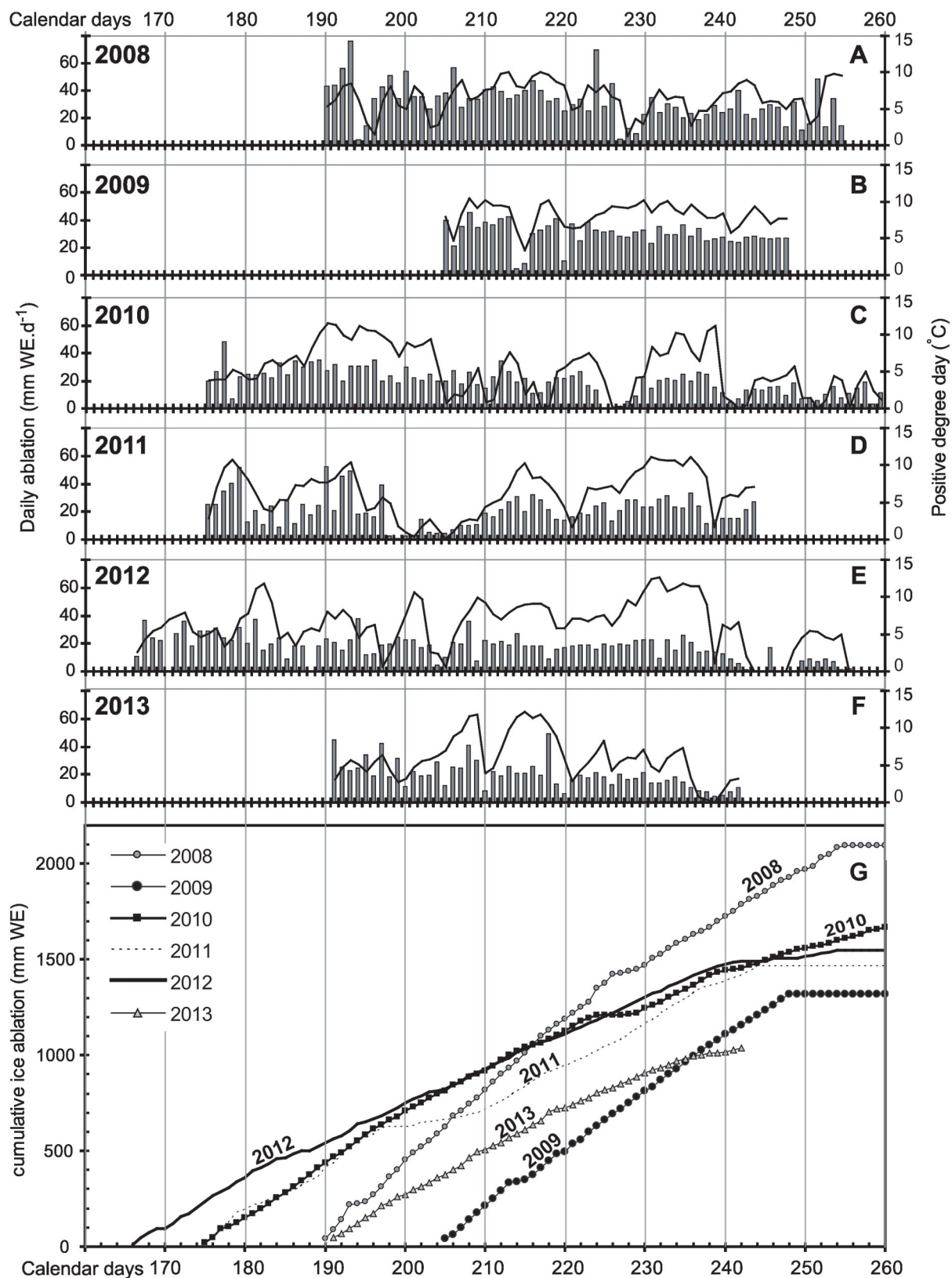
Jobard S. et Dzikowski M., 2008.

Fig. 7.5 - Principe de la modélisation des hydrogrammes glaciaires



Jobard S. et Dzikowski M., 2015.

Fig. 7.6 - Décomposition des hydrogrammes glaciaires



A to F: Daily ablation and PDD for individual years, 8G: Comparison with cumulative ablation

A to F: Solid line: PDD; bar graph: daily ablation

Jobard S. et Dzikowski M., 2015.

Fig. 7.7— Ablation estivale journalière entre 2008 et 2013 sur le glacier du Baounet

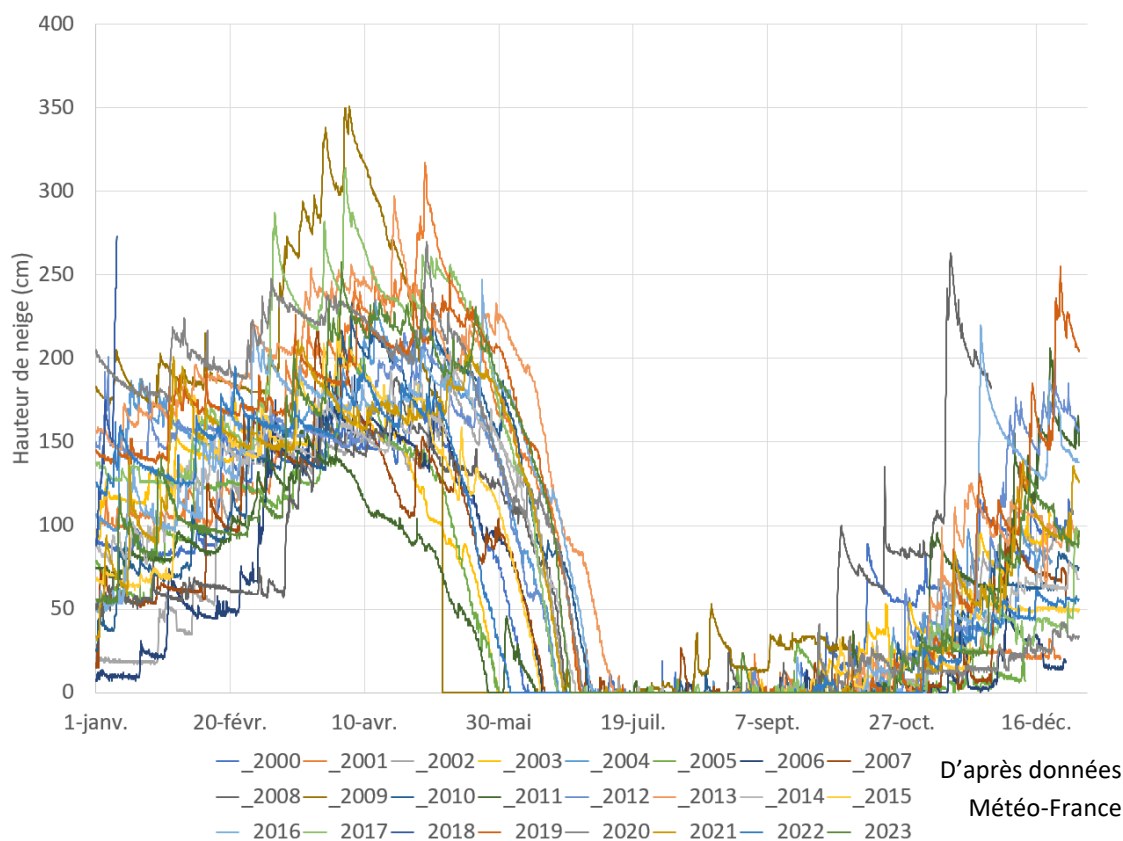


Fig. 7.8 — Evolution des hauteurs de neige à la station Nivose de Bonneval sur Arc (alt. 2720m)

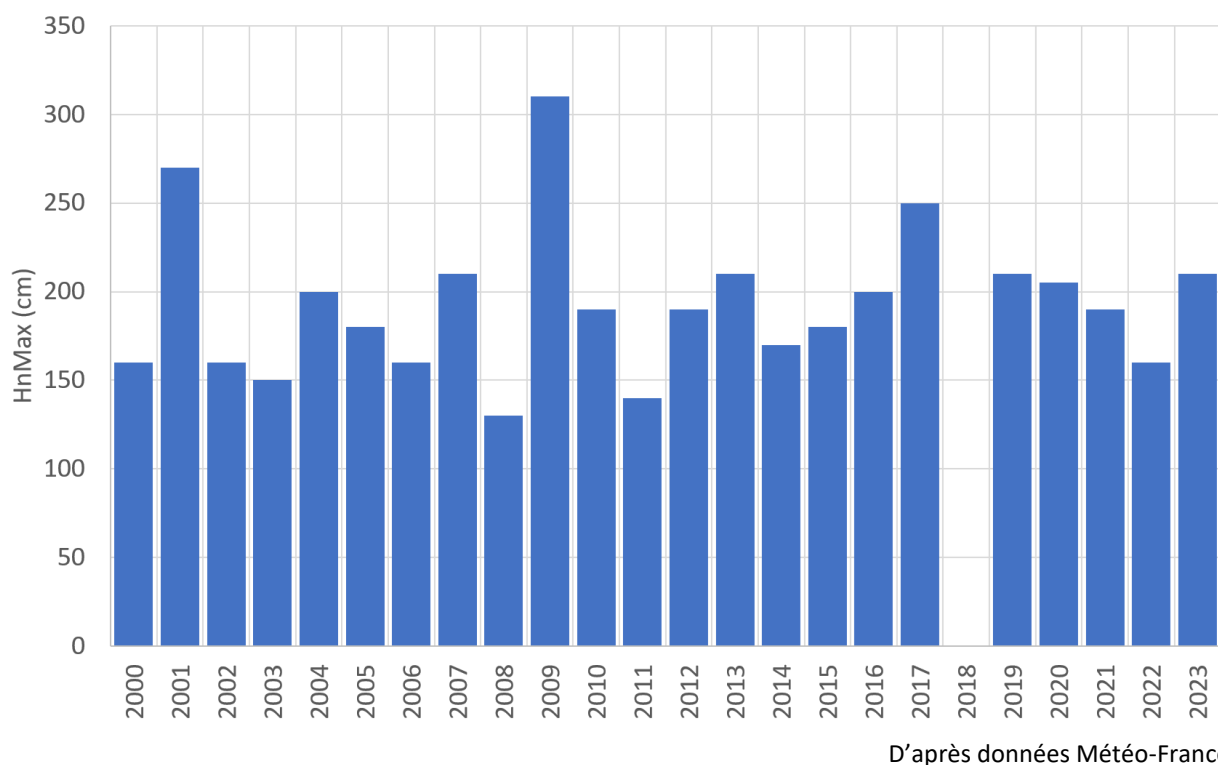
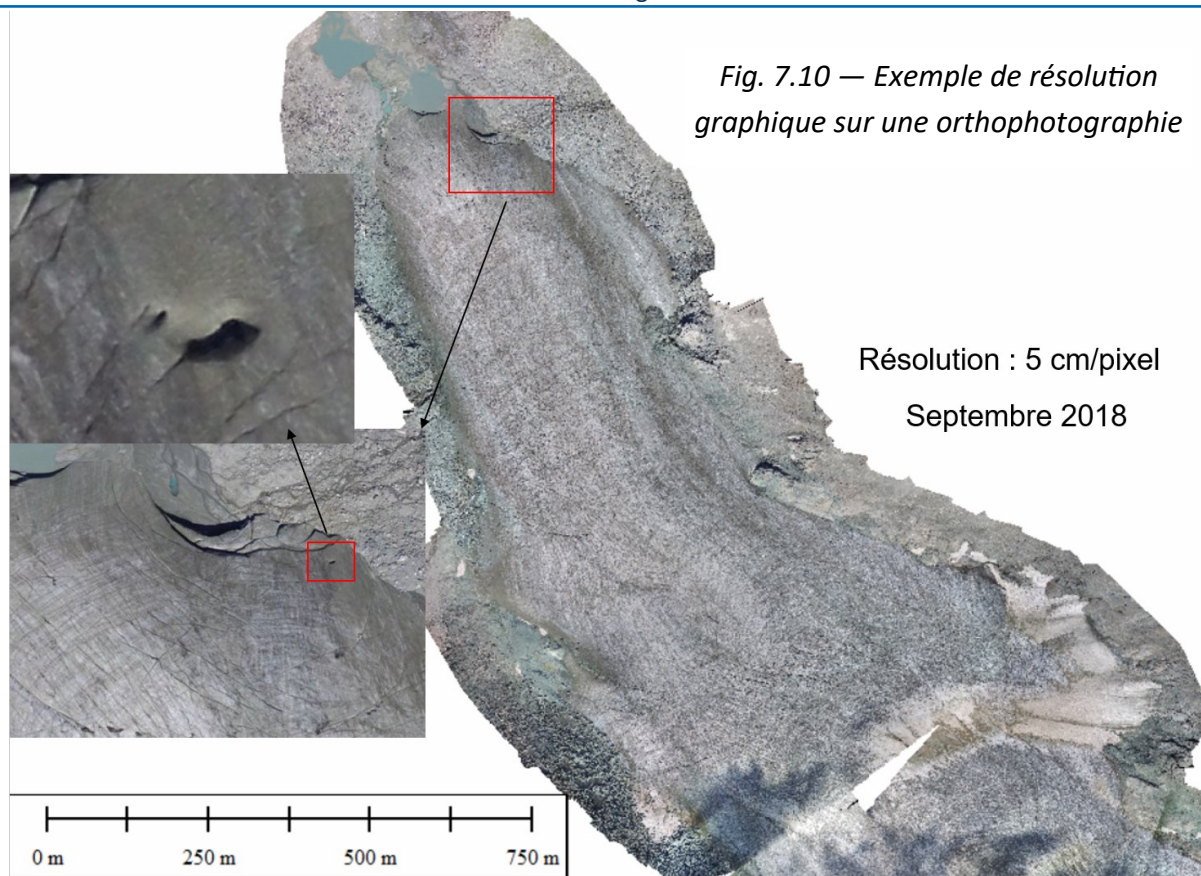


Fig. 7.9 — Evolution des hauteurs de neige maximales
à la station Nivose de Bonneval sur Arc (altitude : 2720m)



S. et Y. Jobard et P. Carreaud, 2022.

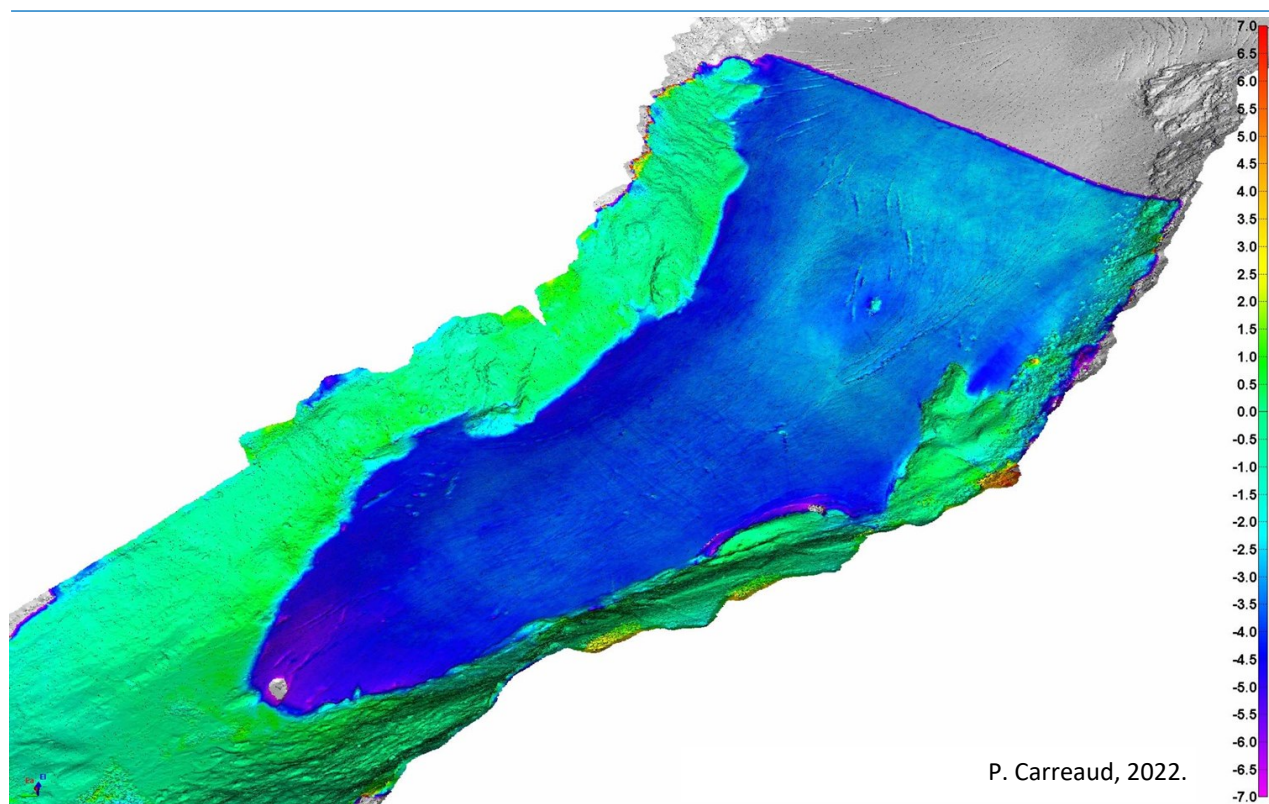
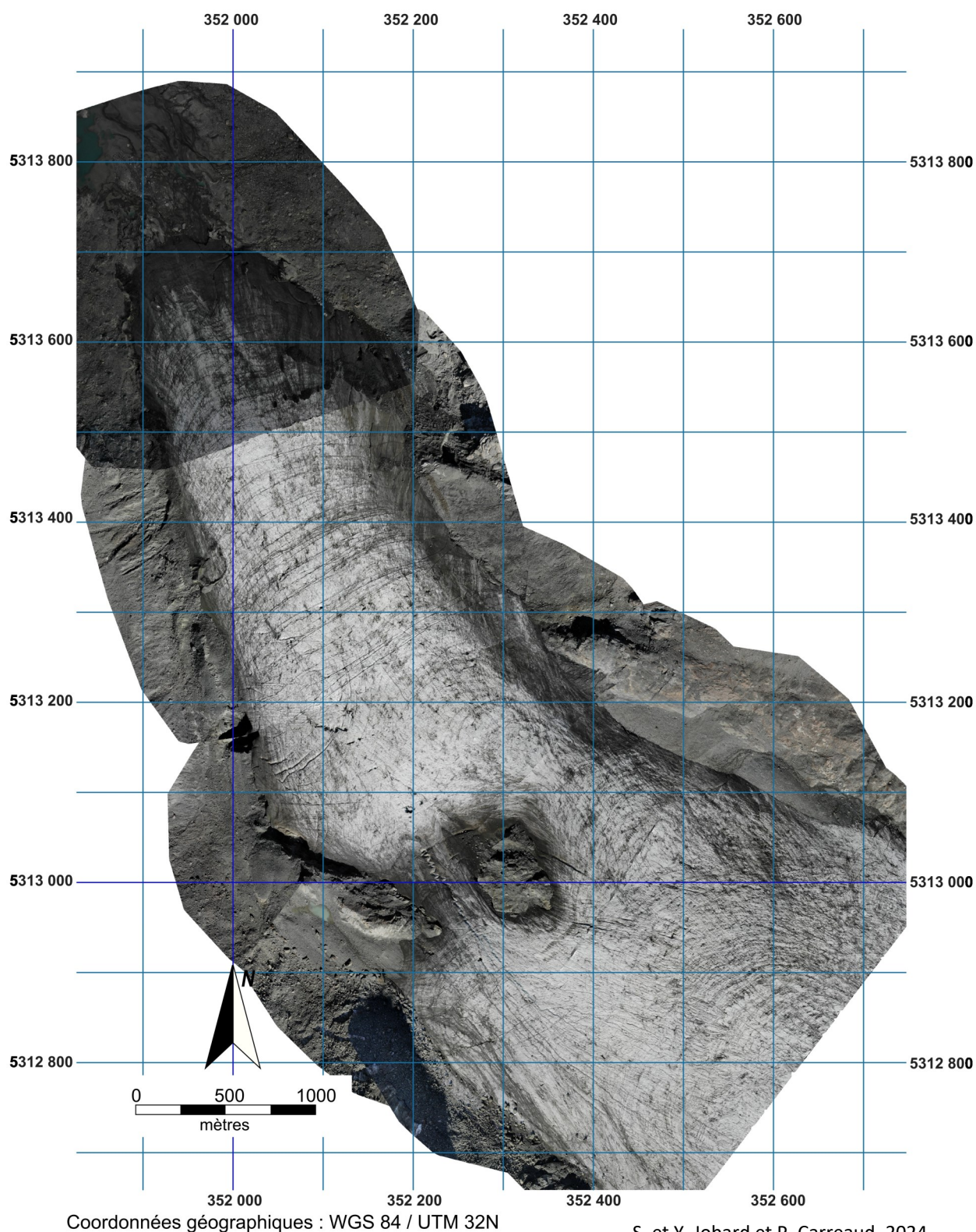


Fig. 7.11 — Variations de volume du glacier du Baounet entre septembre 2020 et septembre 2021



S. et Y. Jobard et P. Carreaud, 2024.

Fig. 7.12— Orthophotographie du glacier du Baounet en septembre 2023.

Le pointement rocheux apparu au milieu du glacier en 2020 préfigure une coupure prochaine du glacier au niveau d'une rupture de pente dans le profil longitudinal. La surface du glacier est très peu crevassée par rapport aux années 2000, ce qui indique une très forte diminution des vitesses.

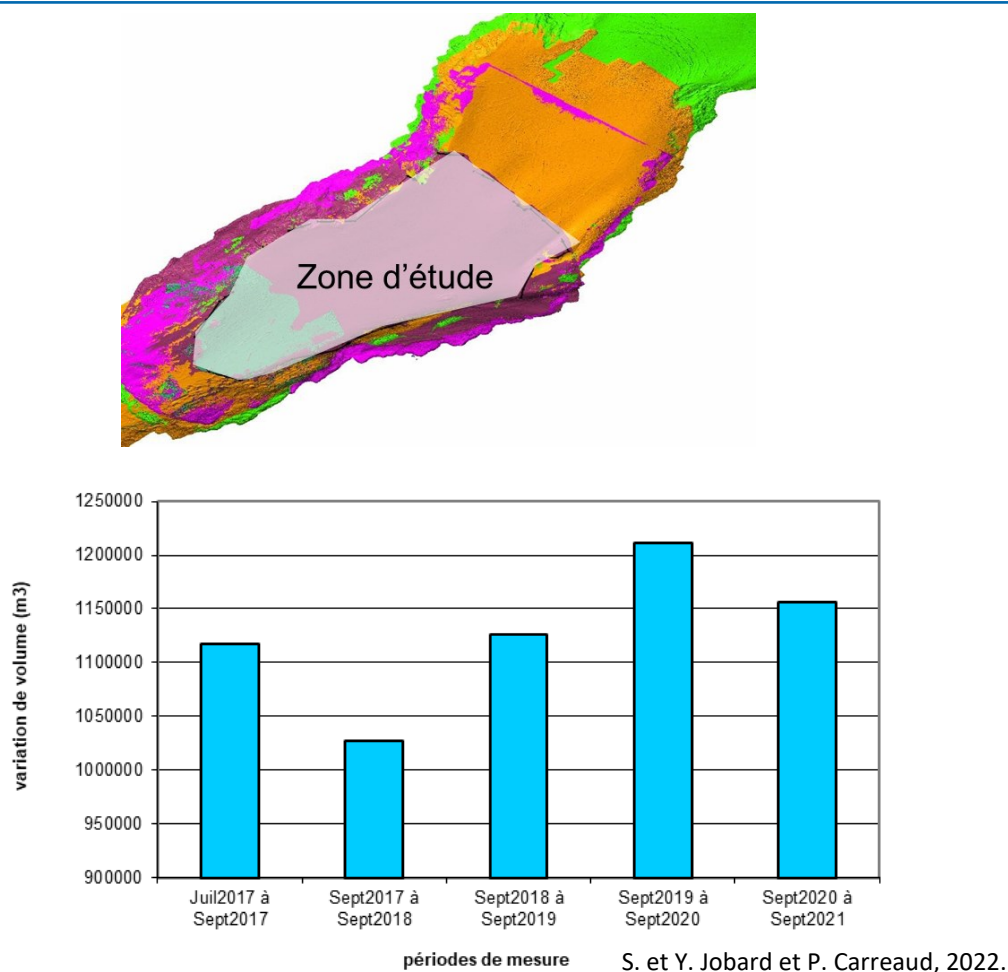
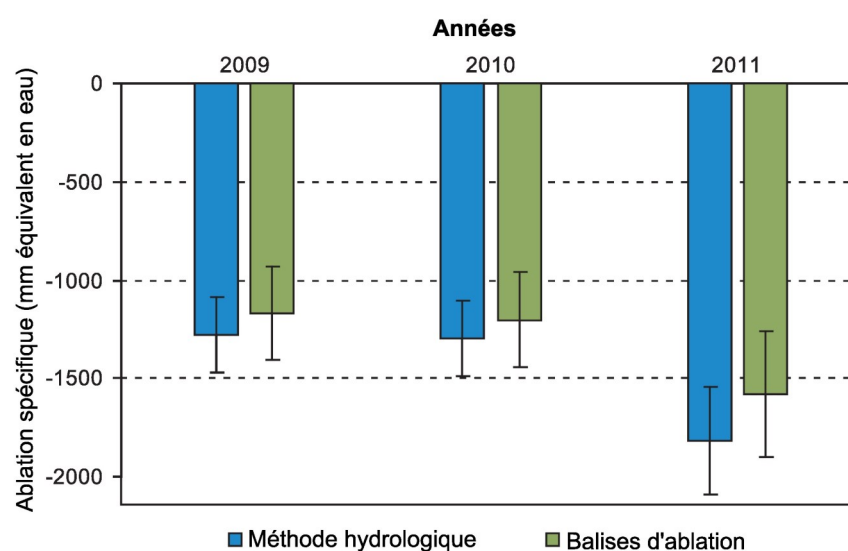


Fig. 7.13— Variations de volume du glacier du Baounet à partir des reconstitutions photogrammétriques



D'après S. Jobard et M. Dzikowski, 2015.

Fig. 7.14 — Comparaison des estimations de l'ablation estivale sur le glacier du Baounet par une méthode hydrologique et glaciologique.

ANNEXES

A1- La zone des gypses et la Zone Spéciale de Carrière (ZSC)

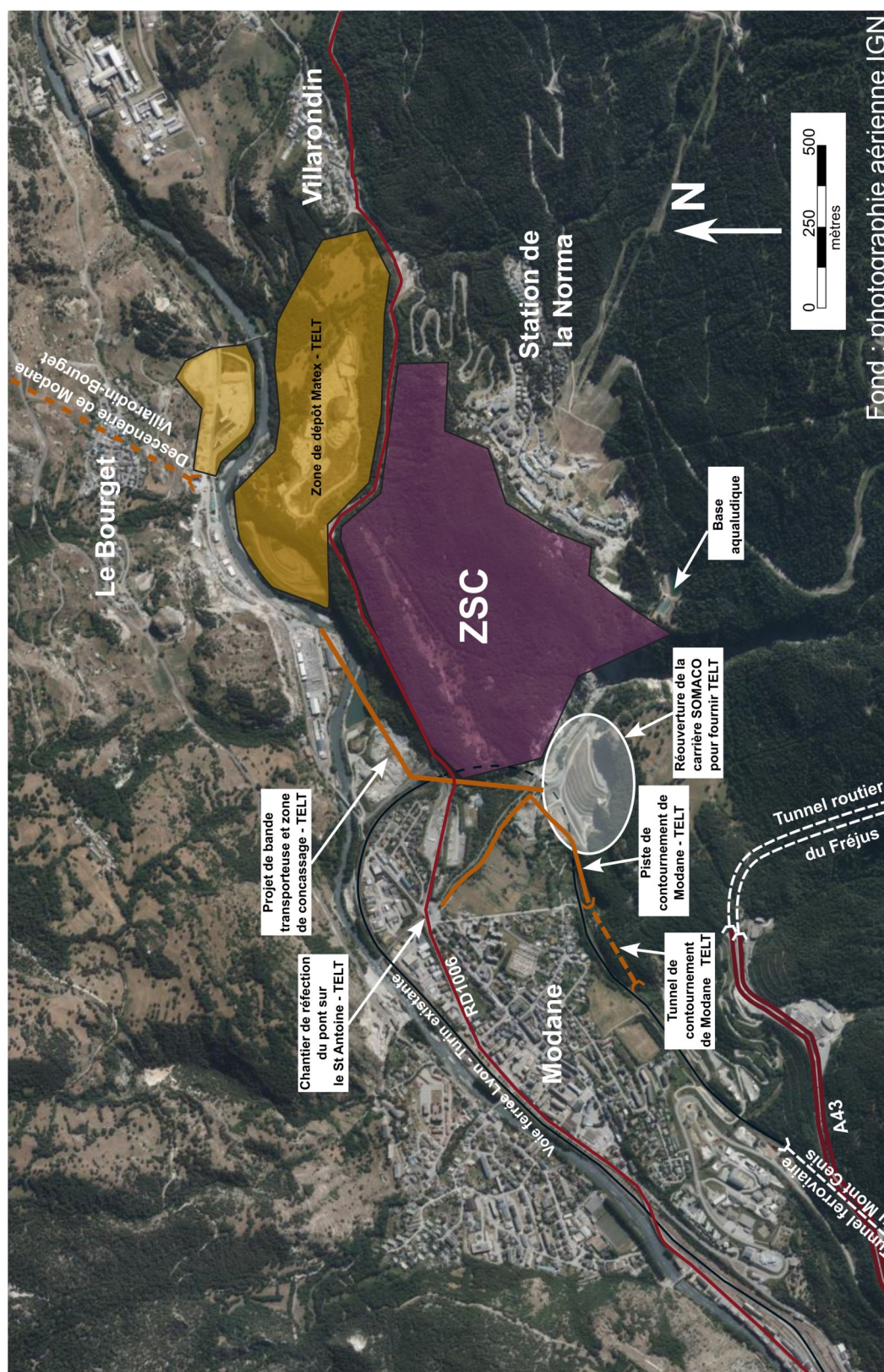


Fig. A1 — La zone des gypses (ZSC) de Villarodin-Bourget-Modane

Infos pratiques

Toute l'année (en raquettes l'hiver)

Plan de la Croix, à la sortie d'Aussois en direction de
Sollières-Sardières

Accès au départ du Sentier des Sculptures

Environ 40 minutes

Stationnements

Plan de la Croix (GPS : 45.231459, 6.752462)
& Monolithe (GPS : 45.246355, 6.767822)

Transport

Arrêt de la navette gratuite
uniquement en hiver
depuis le village d'Aussois.

Toilettes sèches au Plan de la Croix

Pas de point d'eau potable

Accessible aux poussettes uniquement sur la route du Monolithe, prévoir un porte-bébé pour le sentier des sculptures.

Le sentier

Niveau : Facile

Distance : 5,67 km

Durée : 2h30

D+ : 200 mètres / D- : 200 mètres

Alt mini : 1522 m / Alt maxi : 1745 m

Descriptif :

Des sculptures en pleine forêt sur le thème de la Famille. Serge Couvert, sculpteur local, donne libre cours à sa créativité en utilisant sur place des essences naturelles. Le sentier évolue au fil des saisons.

Les sculptures sont numérotées sur le tracé ci-contre. Des bancs jalonnent le parcours et permettent des temps de pause très agréables.

A partir de la sculpture n°10, vous avez la possibilité de faire un détour au Monolithe (Durée : 30 min A/R).

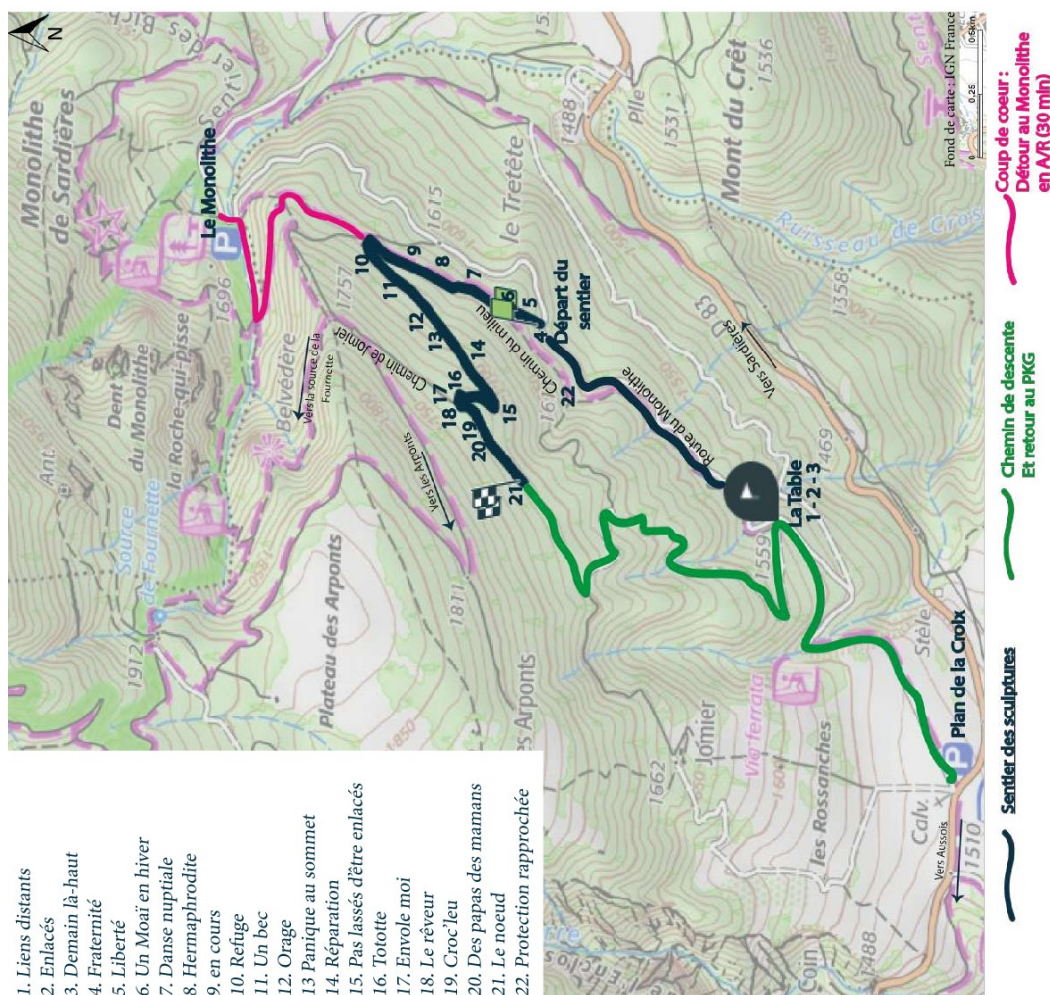


Fig. A2 — Le sentier des Sculptures en forêt (S. COUVERT)



Plus d'infos sur : <https://www.aussois.com/equipement/sentier-des-sculptures-land-art-montagne-aussois/>

Fiche rando, trace gpx, ...



Références

- BORELLA L. 2023. Vidéo de l'écroulement du Freney du 27août 2023. Youtube .
- BRGM, 1988. Carte géologique de la France au 1/50 000— Feuille de Modane
- DAUPHINE LIBERE, 2023. Vidéo d'un tir de sécurisation de la paroi de l'écroulement du Freney. Site web du journal.
- DEBELMAS J., 1982. Guides géologiques régionaux, Alpes de Savoie. Ed. Masson, 182p.
- DZIKOWSKI M., JOBARD S., 2011. Mixing law *versus* discharge and electrical conductivity relationships: application to an alpine proglacial stream, *Hydrological Processes, Hydrological Processes*, Vol.26, 2724–2732
- EDF, 1953. Plans et cartes du barrage de la chute d'Aussois et du barrage de Plan d'Amont (stade exécution). Non publié.
- ESA—Copernicus, 2015. Satellite Sentinel 2A, scène S2A_MSIL1C_20150829T103026_N0204_R108_T32TL_R_20150829T103705
- ESA—Copernicus, 2016. Satellite Sentinel 2A, scène S2A_MSIL1C_20160902T103022_N0204_R108_T32TL_R_20160902T103228
- ESA—Copernicus, 2017. Satellite Sentinel 2A, scène S2A_MSIL1C_20170907T103021_N0205_R108_T32TL_R_20200806T193119
- ESA—Copernicus, 2018. Satellite Sentinel 2B, scène S2B_MSIL2A_20180927T103019_N0208_R108_T32TL_R_20180927T155848
- ESA—Copernicus, 2019. Satellite Sentinel 2A, scène S2A_MSIL1C_20190917T103021_N0208_R108_T32TL_R_20190917T124452
- ESA—Copernicus, 2021. Satellite Sentinel 2A, scène S2A_MSIL2A_20211016T103031_N0500_R108_T32TL_R_20230107T181945
- ESA—Copernicus, 2022. Satellite Sentinel 2A, scène S2A_MSIL1C_20220911T102621_N0400_R108_T32TL_R_20220911T141033
- ESA—Copernicus, 2023. Satellite Sentinel 2B, scène S2B_MSIL2A_20231011T102849_N0509_R108_T32TL_R_20231011T133218
- GOGUEL J., PACHOUD A., 1979. *Géologie pour le randonneur du Parc National de la Vanoise* – BRGM et Association des Amis du Parc de la Vanoise, 71p.
- IGN, 1945. Photographie aérienne N° : PVA_1-0__1945-07-13__C3840-0101_1945_MISSIONALPES13_5024
- IGN, 1953. Photographie aérienne N° : PVA_1-0__1952-08-22__C3534-0091_1952_F3534_0008
- IGN, 1998. Carte topographique 1/25 000. Les Trois Vallées - 3534OT.
- IGN, 2008. Carte topographique 1/25 000. Les Trois Vallées - 3534OT.
- IGN, 2008. Carte topographique 1/25 000. Tignes Val d'Isère Haute Maurienne - 3633ET
- IGN, 2008. Carte topographique 1/25 000. Val Cenis— Charbonnel - 3634OT
- JAIL M., La mise en service du « complexe » hydro-électrique du Mont-Cenis. *Revue de géographie alpine*, tome 59,n°4, 1971. pp. 589-592
- JOBARD S., DZIKOWSKI M., 2008. Les réseaux de drainage glaciaire et les milieux karstiques : analogies morphologiques et modélisations hydrologiques. *Karstologia*, No.51, p45-50.
- JOBARD S., DZIKOWSKI M., 2016. A hydrological approach to estimating daily glacier ablation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol.53(1), p.1-9.
- JOBARD S., JOBARD, Y., CARREAUD P., 2022. Auscultations photogrammétriques sur le glacier du Baounet (Savoie, France). Premiers résultats et retours d'expérience. Résumé de la communication à la rencontre annuelle de la SHF « Glaciologie, Nivologie, Hydrologie et Permafrost », 5p.
- MARNEZY A., 1977. Glaciers rocheux et phénomènes périglaciaires dans le Vallon de la Rocheure (Massif de la Vanoise). *Revue de Géographie Alpine*, tome 65, n°2. p. 147-167
- MARNEZY A., 1981. Vidange brutale d'un lac proglaciaire en Vanoise – *Revue de Géographie Alpine*, tome 69, n°3, p. 489-494.
- MARNEZY A. et BRAVARD Y., 1982. *La Vanoise en marchant*. Editions Trésors de la Savoie, 311p.
- MARNEZY A., 1999. L'Arc et sa vallée. Anthropisation et géodynamique d'une rivière alpine dans son bassin versant – Thèse de doctorat d'Etat en géographie à l'Université Joseph Fourier, Grenoble, Institut de Géographie Alpine, 682p
- PACHOUD A., 1975. Chutes de blocs rocheux à La Pra (Savoie), commune du Freney. Conditions géologiques et prévention. Rapport BRGM pour la préfecture de Savoie. 17p.

Quelques références en accès libre



JAIL M., La mise en service du « complexe » hydro-électrique du Mont-Cenis. *Revue de géographie alpine*, tome 59, n°4, 1971. pp. 589-592

https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1971_num_59_4_1457

JOBARD S., JOBARD, Y., CARREAUD P., 2022. Auscultations photogrammétriques sur le glacier du Baounet (Savoie, France). Premiers résultats et retours d'expérience. Résumé de la communication à la rencontre annuelle de la SHF « Glaciologie, Nivologie, Hydrologie et Permafrost », 5p.

https://veilleursduclimat.ovh/wp-content/uploads/2022/01/SHF-2022_auscultation-photogrammetrie-baounet.pdf



MARNEZY A., 1977. Glaciers rocheux et phénomènes périglaciaires dans le Vallon de la Rocheure (Massif de la Vanoise). *Revue de Géographie Alpine*, tome 65, n°2. p. 147-167

https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1977_num_65_2_2080

MARNEZY A., 1981. Vidange brutale d'un lac proglaciaire en Vanoise – *Revue de Géographie Alpine*, tome 69, n°3, p. 489-494.

https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1981_num_69_3_2473



PACHOUD A., 1975. Chutes de blocs rocheux à La Pra (Savoie), commune du Freney. Conditions géologiques et prévention. Rapport BRGM pour la préfecture de Savoie. 17p.

<https://infoterre.brgm.fr/rapports/75-SGN-043-JAL.pdf>

Vidéo tir de sécurisation de l'écroulement du Freney

<https://www.ledauphine.com/societe/2023/11/05/autoroute-a-43-fermee-des-explosifs-en-maurienne-pour-securiser-la-montagne-apres-l-eboulement-spectaculaire-du-27-aout>



Table des figures

1- Introduction et généralités	3
Fig. 1.1 — Localisation et parcours de la tournée 2024.....	4
Fig. 1.2 — Localisations des arrêts du jeudi 05 septembre après-midi	5
Fig. 1.3 — Excursions du vendredi 6 et samedi 7 septembre 2024	6
Fig. 1.4 — Schéma de situation de la Vanoise	7
Fig. 1.5 — Schéma structural des Alpes franco-italiennes	8
Fig. 1.6 — Coupe géologique de la vallée de la Maurienne (rive droite)	8
Fig. 1.7 — Coupes géologiques dans la Vanoise	9
Fig. 1.8 — Carte géologique : secteur de Modane.....	10
Fig. 1.9 — Carte géologique : secteur de Aussois - Dent Parrachée	11
Fig. 1.10 — Carte géologique : secteur de Bramans - Termignon (zone des gypses)	12
Fig. 1.11 — Légende de la carte géologique	13
2- Ecoulement du Freney (la Brèche).....	14
Fig. 2.1 — L'écroulement de Saint-André et le bassin du Freney	14
Fig. 2.2 — Coupe transversale du bassin du Freney, à l'amont de l'écroulement de St André	14
Fig. 2.3 — Aperçu de l'écroulement du 27 août 2023	15
Fig. 2.4 — Coupe géologique au droit de l'écroulement de la Brèche	16
Fig. 2.5 — Reconstitution volumétrique du grand écoulement de St André	16
Fig. 2.6 — Travaux de sécurisation de l'écroulement de la Brèche	17
Fig. 2.7 — Aperçu d'un tir de sécurisation de la paroi de l'écroulement du Freney	18
3- Crues torrentielles du Charmaix et du St Antoine le 13 août 2023	19
Fig. 3.1 — Le bassin de Modane-Fourneaux, les étapes de l'urbanisation.....	19
Fig. 3.2 — Cumuls de précipitations estimés entre le 13/08 et le 14/08.....	19
Fig. 3.3 — Localisation des ouvrages le long du Charmaix dans la traversée de Fourneaux	20
Fig. 3.4 — Origine et cheminement des écoulements	20
Fig. 3.5 — Photos du canal du Charmaix et des matériaux excavés	20
Fig. 3.6 — Le bassin versant du Charmaix et ses aménagements	21
Fig. 3.7 — Extrait du PPR de Fourneaux, le long du Charmaix	21
Fig. 3.8 — Impacts de la crue du 13 août 2023	22
Fig. 3.9 — Le torrent du Saint Antoine : travaux de protection effectués de 1898 à 1998	23
Fig. 3.10 — Extrait du PPR de Modane dans le secteur du Saint Antoine	23
Fig. 3.11 — Découvrir les aménagements du Saint Antoine	24
Fig. 3.12 — Torrents périmétrés R.T.M. en Maurienne, carte générale	25
Fig. 3.13 — Carte des précipitations moyennes annuelles en Maurienne et Vanoise	25
Fig. 3.14 — Evolution des précipitations annuelles moyennes le long de la vallée de la Maurienne	25
4- Lac proglaciaire de la Fournache	26
Fig. 4.1 — Photo aérienne ortho-rectifiée du glacier rocheux et du lac de la Fournache (2022)	26
Fig. 4.2 — Croquis de situation : le cirque suspendu de Lesché (massif de la Dent Parrachée)	27
Fig. 4.3 — Coupe du barrage morainique et lac proglaciaire de Lesché	27
Fig. 4.4 — Schéma du vallon de la Fournache	28
Fig. 4.5 — Le glacier rocheux de la Fournache	28
Fig. 4.6 — Lac de la Fournache. Situation en été 2023	29
Fig. 4.7 — Lac de la Fournache (2023). Schéma d'interprétation	29

Fig. 4.8 — Carte de l'évolution du lac proglaciaire de la Fournache.....	30
Fig. 4.9 — Variations de surface du lac proglaciaire de la Fournache	30

5- Hydroélectricité et colmatage sédimentaire d'origine glaciaire 31

Fig. 5.1 — Les aménagements hydroélectriques en Maurienne, carte générale. Situation en 1995	31
Fig. 5.2 — Les étapes de l'aménagement hydroélectrique en Maurienne.	32
Fig. 5.3 — Le complexe Mont-Cenis / barrages d'Aussois. Plan de Situation.	33
Fig. 5.4 — Schéma de fonctionnement du complexe hydroélectrique Mont-Cenis / barrages d'Aussois.....	33
Fig. 5.5 — Le barrage de Plan d'Aval et ses équipements	34
Fig. 5.6 — Usine hydroélectrique de Plan Amont-Plan Aval	34
Fig. 5.7 — Analyse granulométrique des dépôts de la retenue de Plan d'Aval	35
Fig. 5.8 — La retenue du Plan d'Aval (Commune d'Aussois) lors de vidange décennale de sécurité de 1997...	35
Fig. 5.9 — Schéma d'une prise d'eau automatique sur les torrents.....	36
Fig. 5.10 — Débits moyens mensuels du ruisseau de St Benoît (au Plan d'Amont) - (1956 - 1980).....	36
Fig. 5.11 — Le robot NESSIE	37
Fig. 5.12 — Profil en long de la chute d'Aussois	38
Fig. 5.13 — Caractéristiques du barrage de Plan d'Amont	38
Fig. 5.14 — Vue en plan et en coupes du barrage de Plan d'Amont	39
Fig. 5.15 — Photos aériennes historiques des barrages d'Aussois	40

6- Usages locaux de l'eau (Aussois et alentours)..... 41

Fig. 6.1 — Réseau d'irrigation traditionnel	41
Fig. 6.2 — Les débits moyens journaliers à Bramans et Villarondin	42
Fig. 6.3 — Prospectives d'évolution du complexe hydro-électrique Mt Cenis-Aussois pour le stockage	42
Fig. 6.4 — Illustration des régimes hydrologiques nivo-glaciaire et nival pur	43
Fig. 6.5 — Débits annuels (volume écoulé reconstitué) à la prise d'eau d'Avérole.....	43

7— Suivis glaciologiques en Haute Maurienne 44

Fig. 7.1 — Extensions des glaciers des Dômes de la Vanoise.....	44
Fig. 7.2 — Extensions du glacier du Baounet	45
Fig. 7.3 — Localisation de la station de mesure du glacier du Baounet	46
Fig. 7.4 — Evolution de la station de mesure du glacier du Baounet	46
Fig. 7.5 — Principe de la modélisation des hydrogrammes glaciaires	47
Fig. 7.6 — Décomposition des hydrogrammes glaciaires	47
Fig. 7.7 — Ablation estivale journalière entre 2008 et 2013 sur le glacier du Baounet	48
Fig. 7.8 — Evolution des hauteurs de neige à la station Nivose de Bonneval sur Arc	49
Fig. 7.9 — Evolution des hauteurs de neige maximales à la station Nivose de Bonneval sur Arc	49
Fig. 7.10 — Exemple de résolution graphique sur une orthophotographie	50
Fig. 7.11 — Variations de volume du glacier du Baounet entre septembre 2020 et septembre 2021	50
Fig. 7.12 — Orthophotographie du glacier du Baounet en septembre 2023	51
Fig. 7.13 — Variations de volume du glacier du Baounet à partir des reconstitutions photogrammétriques ..	52
Fig. 7.14 — Comparaison des estimations de l'ablation estivale sur le glacier du Baounet.....	52

Annexes..... 54

Fig. A1— La zone des gypses (ZSC) de Villarodin-Bourget-Modane	53
Fig. A2 — Le sentier des Sculptures en forêt	54

Notes

Dômes de la Vanoise, IGN (2022)

