



**HAL**  
open science

# La médecine légale, une aide à la compréhension des mécanismes physiopathologiques des décès des victimes d'avalanche

Lila Krebs-Drouot

► **To cite this version:**

Lila Krebs-Drouot. La médecine légale, une aide à la compréhension des mécanismes physiopathologiques des décès des victimes d'avalanche. Médecine humaine et pathologie. 2021. dumas-03505784

**HAL Id: dumas-03505784**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03505784v1>**

Submitted on 31 Dec 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance.

La propriété intellectuelle du document reste entièrement celle du ou des auteurs. Les utilisateurs doivent respecter le droit d'auteur selon la législation en vigueur, et sont soumis aux règles habituelles du bon usage, comme pour les publications sur papier : respect des travaux originaux, citation, interdiction du pillage intellectuel, etc.

Il est mis à disposition de toute personne intéressée par l'intermédiaire de [l'archive ouverte DUMAS](#) (Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance).

Si vous désirez contacter son ou ses auteurs, nous vous invitons à consulter la page de DUMAS présentant le document. Si l'auteur l'a autorisé, son adresse mail apparaîtra lorsque vous cliquerez sur le bouton « Détails » (à droite du nom).

Dans le cas contraire, vous pouvez consulter en ligne les annuaires de l'ordre des médecins, des pharmaciens et des sages-femmes.

Contact à la Bibliothèque universitaire de Médecine Pharmacie de Grenoble :

[bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:bump-theses@univ-grenoble-alpes.fr)

Année : 2021

LA MÉDECINE LÉGALE, UNE AIDE À LA COMPRÉHENSION DES  
MÉCANISMES PHYSIOPATHOLOGIQUES DES DÉCÈS DES VICTIMES  
D'AVALANCHE

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

SPÉCIALITÉ : MÉDECINE LÉGALE ET EXPERTISES MÉDICALES

Par Mme Lila KREBS-DROUOT

*[Données à caractère personnel]*

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Le 03/12/2021

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président du jury :

Mme le Pr Virginie SCOLAN

Membres :

M. le Pr Michel PEOC'H

M. le Pr Pierre BOUZAT

Mme le Dr Hélène EYSSERIC

M. le Dr François PAYSANT

M. le Dr François CHIRON (Directeur de thèse)

*L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*



Année : 2021

LA MÉDECINE LÉGALE, UNE AIDE À LA COMPRÉHENSION DES  
MÉCANISMES PHYSIOPATHOLOGIQUES DES DÉCÈS DES VICTIMES  
D'AVALANCHE

THÈSE

POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

SPÉCIALITÉ : MÉDECINE LÉGALE ET EXPERTISES MÉDICALES

Par Mme Lila KREBS-DROUOT

*[Données à caractère personnel]*

THÈSE SOUTENUE PUBLIQUEMENT À LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE GRENOBLE

Le 03/12/2021

DEVANT LE JURY COMPOSÉ DE :

Président du jury :

Mme la Pr Virginie SCOLAN

Membres :

M. le Pr Michel PEOC'H

M. le Pr Pierre BOUZAT

Mme le Dr Hélène EYSSERIC

M. le Dr François PAYSANT

M. le Dr François CHIRON (Directeur de thèse)

*L'UFR de Médecine de Grenoble n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions sont considérées comme propres à leurs auteurs.*



CORPS	NOM-PRENUM	Discipline universitaire
PU-PH	ALBALADEJO Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH	APTEL Florent	Ophthalmologie
PU-PH	ARVIEUX-BARTHELEMY Catherine	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	BAILLET Athan	Rhumatologie
PU-PH	BARONE-ROCHETTE Gilles	Cardiologie
PU-PH	BAYAT Sam	Physiologie
MCF Ass.MG	BENDAMENE Farouk	Médecine Générale
PU-PH	BENHAMOU Pierre-Yves	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	BERGER François	Biologie cellulaire
MCU-PH	BETRY Cécile	Nutrition
MCU-PH	BIDART-COUTTON Marie	Biologie cellulaire
PU-PH	BIOULAC-ROGIER Stéphanie	Pédopsychiatrie ; addictologie
PU-PH	BLAISE Sophie	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PR Ass. Méd.	BOILLOT Bernard	Urologie
MCU-PH	BOISSET Sandrine	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	BONAZ Bruno	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	BONNETERRE Vincent	Médecine et santé au travail
PU-PH	BOREL Anne-Laure	Nutrition
PU-PH	BOSSON Jean-Luc	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	BOTTARI Serge	Biologie cellulaire
PR Ass.MG	BOUCHAUD Jacques	Médecine Générale
PU-PH	BOUGEROL Thierry	Psychiatrie d'adultes
PU-PH	BOUILLET Laurence	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MCU-PH	BOUSSAT Bastien	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	BOUZAT Pierre	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
PU-PH émérite	BRAMBILLA Christian	Pneumologie
PU-PH émérite	BRAMBILLA Elisabeth	Anatomie et cytologie pathologiques
MCU-PH	BRENIER-PINCHART Marie Pierre	Parasitologie et mycologie
PU-PH	BRICAULT Ivan	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	BRICHON Pierre-Yves	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
MCU-PH	BRIOT Raphaël	Thérapeutique-médecine de la douleur ; Addictologie
PU-PH émérite	CAHN Jean-Yves	Hématologie
PU-PH émérite	CARPENTIER Patrick	Chirurgie vasculaire, médecine vasculaire
PR Ass.MG	CARRILLO Yannick	Médecine Générale
MCU-PH	CASPAR Yvan	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
PU-PH	CESBRON Jean-Yves	Immunologie
PU-PH	CHABARDES Stephan	Neurochirurgie
PU-PH	CHABRE Olivier	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	CHAFFANJON Philippe	Anatomie
MCF Ass.MG	CHAMBOREDON Benoît	Médecine Générale
PU-PH	CHARLES Julie	Dermato-vénérologie
MCF Ass.MG	CHAUVET Marion	Médecine Générale
PU-PH	CHAVANON Olivier	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	CHIQUET Christophe	Ophthalmologie
PU-PH	CHIRICA Mircea	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	CINQUIN Philippe	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	CLAVARINO Giovanna	Immunologie
MCU-PH	CLIN CHERPEC Rita	Nutrition
PU-PH	COHEN Olivier	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	COSTENTIN Charlotte	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PU-PH	COURVOISIER Aurélien	Chirurgie infantile
PU-PH	COUTTON Charles	Génétique
PU-PH	COUTURIER Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	CRACOWSKI Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH	DEBATY Guillaume	Médecine d'Urgence
PU-PH	DEBILLON Thierry	Pédiatrie
PU-PH	DECAENS Thomas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PR Ass. Méd.	DEFAYE Pascal	Cardiologie
PU-PH	DEGANO Bruno	Pneumologie ; addictologie
PU-PH	DEMATTEIS Maurice	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
PU-PH émérite	DEMONGEOT Jacques	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	DERANSART Colin	Physiologie
PU-PH	DESCOTES Jean-Luc	Urologie
PU-PH	DETANTE Olivier	Neurologie
MCU-PH	DIETERICH Klaus	Génétique
MCU-PH	DOUTRELEAU Stéphane	Physiologie
PU-PH	EPAULARD Olivier	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	ESTEVE François	Biophysique et médecine nucléaire
MCU-PH	EYSSERIC Hélène	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH émérite	FAGRET Daniel	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	FAUCHERON Jean-Luc	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	FAURE Julien	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	FERRETTI Gilbert	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	FONTAINE Éric	Nutrition
PU-PH	FRANCOIS Patrice	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-MG	GABOREAU Yoann	Médecine Générale
PU-PH	GARBAN Frédéric	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	GAUDIN Philippe	Rhumatologie
PU-PH	GAVAZZI Gaétan	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
PU-PH	GAY Emmanuel	Neurochirurgie
MCU-PH	GIAI Joris	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
MCU-PH	GILLOIS Pierre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	GIOT Jean-Philippe	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; Brûlologie
MCU-PH	GRAND Sylvie	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH émérite	GRIFFET Jacques	Chirurgie infantile
PU-PH	HAINAUT Pierre	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH émérite	HALIMI Serge	Nutrition
PU-PH	HENNEBICQ Sylviane	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PU-PH	HOFFMANN Pascale	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH émérite	HOMMEL Marc	Neurologie

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-MG	IMBERT Patrick	Médecine Générale
PU-PH émérite	JOUK Pierre-Simon	Génétique
PU-PH	KAHANE Philippe	Physiologie
MCU-PH	KASTLER Adrian	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	KRAINIK Alexandre	Radiologie et imagerie médicale
PU-PH	LABARERE José	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
MCU-PH	LABLANCHE Sandrine	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
PU-PH	LANDELLE Caroline	Bactériologie – virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	LANTUEJOL Sylvie	Anatomie et cytologie pathologiques
PR Ass. Méd.	LARAMAS Mathieu	Cancérologie ; radiothérapie
MCU-PH	LARDY Bernard	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH	LE GOUELLEC LE PISSART Audrey	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	LECCIA Marie-Thérèse	Dermato-vénérologie
PR Ass.MG	LEDOUX Jean-Nicolas	Médecine Générale
PU-PH émérite	LETOUBLON Christian	Chirurgie viscérale et digestive
PU-PH	LEVY Patrick	Physiologie
PU-PH	LONG Jean-Alexandre	Urologie
MCU-PH	LUPO Julien	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MAITRE Anne	Médecine et santé au travail
MCU-PH	MARLU Raphaël	Hématologie ; Transfusion
PR Ass. Méd.	MATHIEU Nicolas	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
MCU-PH	MAUBON Danièle	Parasitologie et mycologie
PU-PH	MAURIN Max	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
MCU-PH	MC LEER Anne	Histologie, embryologie et cytogénétique
PR Ass. Méd	MICHY Thiery	Gynécologie-obstétrique
MCU-PH	MONDET Julie	Histologie, embryologie et cytogénétique
PU-PH	MORAND Patrice	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH	MOREAU-GAUDRY Alexandre	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	MORO Elena	Neurologie
PU-PH	MORO-SIBILOT Denis	Pneumologie ; addictologie
MCU-PH	MORTAMET Guillaume	Pédiatrie
PU-PH	MOUSSEAU Mireille	Cancérologie ; radiothérapie
PU-PH émérite	MOUTET François	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie
MCF Ass.MG	ODDOU Christel	Médecine Générale
PR Ass. Méd.	ORMEZANO Olivier	Cardiologie
MCU-PH	PACLET Marie-Hélène	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	PAILHE Régis	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	PALOMBI Olivier	Anatomie
PU-PH	PARK Sophie	Hématologie ; Transfusion
PR Ass.MG	PAUMIER-DESBRIERES Françoise	Médecine Générale
PU-PH	PAYEN DE LA GARANDERIE Jean-François	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
MCU-PH	PAYSANT François	Médecine légale et droit de la santé
MCU-PH	PELLETIER Laurent	Biologie cellulaire
PU-PH	PELLOUX Hervé	Parasitologie et mycologie
PU-PH	PEPIN Jean-Louis	Physiologie
PU-PH	PERARD Chantal	Immunologie
PU-PH	PERENNOU Dominique	Médecine physique et de réadaptation

CORPS	NOM-PRENOM	Discipline universitaire
PU-PH	PERNOD Gilles	Chirurgie vasculaire ; Médecine vasculaire
PU-PH	PIOLAT Christian	Chirurgie infantile
PU-PH	PISON Christophe	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	PLANTAZ Dominique	Pédiatrie
PU-PH	POIGNARD Pascal	Bactériologie-virologie ; Hygiène hospitalière
PU-PH émérite	POLACK Benoît	Hématologie ; Transfusion
PU-PH	POLOSAN Mircea	Psychiatrie d'adultes ; Addictologie
PU-PH émérite	RAMBEAUD Jean-Jacques	Urologie
PU-PH	RAY Pierre	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PR Ass. Méd.	RECHE Fabian	Chirurgie viscérale et digestive
MCU-PH	RENDU John	Biochimie et biologie moléculaire
MCU-PH émérite	RIALLE Vincent	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication
PU-PH	RIETHMULLER Didier	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
PU-PH	RIGHINI Christian	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH émérite	ROMANET Jean Paul	Ophthalmologie
PU-PH	ROSTAING Lionel	Néphrologie
PU-PH	ROUSTIT Matthieu	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	ROUX-BUISSON Nathalie	Biochimie et biologie moléculaire
PR Ass.MG	ROYER DE VERICOURT Guillaume	Médecine Générale
PU-PH émérite	SARAGAGLIA Dominique	Chirurgie orthopédique et traumatologie
MCU-PH	SATRE Véronique	Génétique
PU-PH	SAUDOU Frédéric	Biologie cellulaire
PU-PH	SCHMERBER Sébastien	Oto-rhino-laryngologie
PU-PH	SCHWEBEL Carole	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	SCOLAN Virginie	Médecine légale et droit de la santé
PU-PH	SEIGNEURIN Arnaud	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	SPEAR Rafaëlle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire
PU-PH émérite	STAHL Jean-Paul	Maladies infectieuses ; Maladies tropicales
PU-PH	STANKE Françoise	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MCU-PH	STASIA Marie-José	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	STURM Nathalie	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	TAMISIER Renaud	Physiologie
PU-PH	TERZI Nicolas	Médecine intensive-réanimation
PU-PH	THEVENON Julien	Génétique
PU-PH	TOFFART Anne-Claire	Pneumologie ; Addictologie
PU-PH	TONETTI Jérôme	Chirurgie orthopédique et traumatologie
PU-PH	TOUSSAINT Bertrand	Biochimie et biologie moléculaire
PU-PH	VALMARY-DEGANO Séverine	Anatomie et cytologie pathologiques
PU-PH	VANZETTO Gérald	Cardiologie
PU-PH	VUILLEZ Jean-Philippe	Biophysique et médecine nucléaire
PU-PH	WEIL Georges	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
PU-PH	ZAOUI Philippe	Néphrologie
PU-PH émérite	ZARSKI Jean-Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie

PU-PH : Professeur des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH : Maître de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-MG : Professeur des Universités de Médecine Générale

MCU-MG : Maître de Conférences des Universités de Médecine Générale

PR Ass. Méd. : Professeur des Universités Associé de Médecine

PR Ass.MG : Professeur des Universités Associé de Médecine Générale

MCF Ass.MG : Maître de Conférences Associé de Médecine Générale



# Avant-propos

La place de la médecine légale dans la compréhension des mécanismes physiopathologiques des décès est ancienne : « Ouvrez quelques cadavres : vous verrez aussitôt disparaître l'obscurité que la seule observation n'avait pu dissiper. » disait Xavier Bichat en 1801. Aujourd'hui, cette place est parfois discutée, avec l'apparition de nouvelles technologies qui permettent de voir l'intérieur du corps, sans avoir besoin de l'ouvrir. Les autopsies restent cependant des actes médicaux et médico-légaux qui permettent d'apporter des informations précieuses et elles restent indispensables, au niveau individuel et collectif, au fonctionnement de notre société. L'addition de ces nouvelles technologies à la médecine légale renforce et améliore le diagnostic et la thérapeutique de nombreuses pathologies.

A la suite de l'Examen Classant National (ECN) 2019, j'ai choisi cette spécialité, et la ville de Grenoble pour la pratiquer. Mon apprentissage n'a fait que renforcer ma conviction profonde de l'importance de cette discipline, et de son développement, pour le soin des vivants. Grenoble est une ville se situant dans le département de l'Isère, elle est à proximité d'importants massifs montagneux. C'est un endroit privilégié pour étudier les avalanches, et malheureusement, parfois leurs victimes. De nombreux acteurs sont impliqués pour permettre la compréhension de ce phénomène et les accidents qui en découlent : l'étude de la neige, des terrains géologiques, l'examen du blessé et sa prise en charge par les secours et la réanimation, et en cas de décès, la médecine légale. Le choix d'une thèse sur ce sujet apparaissait alors logique. A Grenoble, le « monde de la montagne » est extrêmement présent, et travailler sur une problématique régionale me paraissait important.

Mon travail donne suite à une précédente thèse, qui avait analysé de manière rétrospective les décès des personnes victimes d'avalanche dans la région grenobloise. Cette étude avait retrouvé la présence d'un œdème pulmonaire, dont les mécanismes n'étaient pas complètement compris. L'asphyxie, bien que reconnue comme le mode de décès majoritaire chez ces victimes, peut inclure de nombreux mécanismes différents, et leur compréhension ainsi que leur lien avec l'épidémiologie pourront permettre d'améliorer la prise en charge des victimes.

Je me suis rendu compte au fur et à mesure de ce travail qu'au sein du monde médical, la place de la médecine légale n'était pas aussi évidente pour beaucoup d'acteurs du soin qu'elle pouvait l'être pour moi ; et j'ai eu des difficultés à porter ce projet auprès du « monde de la montagne ».

Cette thèse se fait la représentation de la démarche poursuivie afin de réaliser un travail de recherche clinique, avec ce que ce travail implique de rigueur, de documentation, et d'énergie.



Figure 1. Rembrandt (1606–1669), *La leçon d'anatomie du docteur Tulp*, 1632, huile sur toile, Mauritshuis (1)

« *Pourtant, que la montagne est belle.* » - Jean Ferrat

Une pensée pour ces hommes et ces femmes, restés en montagne.

# Remerciements

Merci au Professeur Scolan.

Lorsque je me renseignais sur la spécialité de médecine légale, et sur les différentes villes, j'ai eu la chance de vous avoir au téléphone. A la suite de cet appel, je suis venue apprendre auprès de vous cette incroyable spécialité. Je vous fais confiance en tant que chef, c'est à moi maintenant de vous prouver que vous pouvez également me faire confiance.

Merci au Docteur Chiron.

Tu as toujours été une bonne oreille et de bon conseil. J'ai pu compter sur toi pour mon mémoire de Master 1, pour ma thèse, mais également au quotidien pour apprendre la médecine légale, la recherche... J'espère ne pas t'avoir donné trop de travail, pour que tu acceptes de m'aider encore sur de futurs projets.

Merci à toutes les personnes qui m'ont accompagnées tout au long de ce projet.

Pr Bouzat, co-initiateur de ce projet ; l'incroyable équipe de toxicologie avec les Dr Eysseric et Dr Willeman ; le Dr Guergour, qui m'a beaucoup aidée en biochimie ; le Dr Blancher avec qui j'ai pu parler de cette impressionnante discipline qu'est la médecine de montagne ; le Dr Bellier pour son accompagnement en méthodologie.

Merci à tous les médecins du service de médecine légale.

Docteur Paysant, vous êtes un excellent guide pour grandir dans cette spécialité, vous m'apprenez de nombreuses choses.

Jeremy, merci pour ton accueil, j'espère profiter encore longtemps de tes compétences en balistique. Merci à Cloé, Laura, Mélissa, et Pierre de m'avoir accompagnée, et de m'accompagner encore.

Merci à tout le personnel du service de médecine légale, vous méritez plus de brioches et de gâteaux que je ne pourrais jamais vous en apporter.

Merci au Professeur Peoc'h, un jour par semaine n'est pas assez pour tout ce que vous avez à m'apprendre. Vous êtes d'un excellent conseil.

Merci à Carolyne de m'avoir si bien accueillie, et à tout le personnel de l'IML de Saint-Etienne pour tout ce que vous m'avez apporté.

Merci à tous les gens que j'ai rencontrés à l'internat là-bas, Aubin, Roxane, Simon, Vincent, Flo, Camille.s.

Merci à Mattew et Jérphine, vous êtes mes nouveaux amis, et mes futurs collègues.

Merci à mes anciens amis, qui ne cessent pas de l'être : Alban et Marion, Guillaume et Pierre, Louise.

Merci à tous les amis de Léo devenus mes amis.

Merci à toute ma grande famille, mes grands-parents, mes oncles et mes tantes, mes cousins et mes cousines, ma filleule Jade et à la famille de Léo.

Merci à mes parents, de m'avoir permis de grandir heureuse, et grâce à qui je peux aujourd'hui faire les bons choix pour continuer à l'être. Merci à mon frère, tu parles peu et tu aimes fort. Je vous aime plus que tout.

Merci à tous les gens qui m'ont accompagnée à un moment, ou à un autre, je pense à vous même si je ne l'écris pas là.

Merci d'avance à tous les gens que je vais encore rencontrer, et grâce à qui je ne cesserai de progresser, professionnellement et humainement.

Merci à Léo, grâce à qui je suis heureuse tout le temps. Tu es l'amour de ma vie. Tu m'as fait grandir depuis le jour où on s'est rencontrés. Je ne te remercierai jamais assez.

# Table des matières

<b>Liste des figures et tables</b>	<b>16</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>18</b>
<b>Liste des annexes</b>	<b>20</b>
<b>Résumé</b>	<b>21</b>
<b>I. Le monde de la montagne</b>	<b>23</b>
1. Généralités autour de la montagne	24
2. Les avalanches	34
3. Les accidents d'avalanche	48
<b>II. Les modes de décès des victimes d'avalanche</b>	<b>68</b>
1. Epidémiologie des modes de décès chez les victimes d'avalanche	70
2. Les traumatismes	83
3. L'asphyxie en médecine légale	86
4. L'asphyxie chez les victimes d'avalanche	90
5. L'œdème pulmonaire	91
6. L'hypothermie	96
7. Objectif général du projet de recherche	106
<b>III. Matériel et méthodes</b>	<b>107</b>
1. Nom du protocole	108
2. Méthodologie générale	108
3. Centre d'étude et population	109
4. Objectif et critère de jugement principal	111
5. Objectifs et critères de jugement secondaires	112
6. Données collectées	115
7. Nombre de sujets nécessaires	118
8. Statistiques	119
<b>IV. Résultats attendus</b>	<b>120</b>
<b>V. Montage du projet</b>	<b>121</b>
1. Montage du projet	122
2. Démarches réglementaires	129
3. Recherche de financement	131
4. Intérêts du projet	133
5. Difficultés de réalisation	134
<b>IV. Conclusion</b>	<b>135</b>
<b>Annexes</b>	<b>138</b>
Annexe 1 : Protocole simplifié RNIPH du projet PSAAD de l'AOI CHUGA 2021	138
Annexe 2 : Manifestation d'intérêt du projet PSAAD à l'AOI 2021	143
Annexe 3 : Lettre d'intention du projet PSAAD à l'AOI CHUGA 2021	147
Annexe 4 : Résultats du projet PSAAD à l'AOI CHUGA 2021	153
Annexe 5 : Lettre au Procureur de la République	156
<b>Bibliographie</b>	<b>159</b>

# Liste des figures et tables

Figure 1. Rembrandt (1606–1669), La leçon d’anatomie du docteur Tulp, 1632, huile sur toile, Mauritshuis	11
Figure 2. Communes classées en zone de montagne (zonage urbanisme). Source : observatoire des territoires	24
Figure 3. Montagne et diversité des activités (été). Source : SNOSM	26
Figure 4. Montagne et diversité des activités (hiver). Source : SNOSM	27
Figure 5. Activité pratiquée par les victimes en montagne. Source : SNOSM 2020	28
Figure 6. Clientèle du domaine skiable français indicateur 2019-2020. Source : domaine-skiable	29
Figure 7. Emploi induit en stations indicateur analyse 2019-2020. Source : domaine-skiable	29
Figure 8. Les motivations selon les sports de glisse pratiqués. Source : enquête Pratique sportive des adolescents, ministère de la Jeunesse, des sports et de la vie associative, novembre 2001	31
Figure 9. Evolution de l’enneigement moyen au cours de l’hiver. Source : observatoire des territoires	32
Figure 10. Réduction de la hauteur de neige printanière sur les Alpes. Source : observatoire des territoires	33
Figure 11. Avalanche dans les Alpes, peinture de 1803 par Philippe-Jacques de Louthembourg	34
Figure 12. Avalanche. Source : futura-sciences	34
Figure 13. Couche fragile constituée de cristaux de givre de surface recouverts de neige fraîche. La couche est intacte à droite de l’image, et brisée à gauche. La rupture s’est propagée dans la couche fragile depuis la gauche. Au milieu de l’image, une fissure de retrait s’est créée dans la plaque, ce qui a arrêté la fissure qui progressait dans la couche fragile. Source : SLF, tiré de ASARC / University of Calgary	38
Figure 14. Avalanche de plaque dans la région de Grialetsch. Source : Jürg Schweizer, SLF	38
Figure 15. Avalanche de poudreuse. Source : Michael Bründl, SLF	39
Figure 16. Dépôt d’une avalanche coulante dans la vallée de la Sionne. Source : Marc Christen, SLF	40
Figure 17. Echelle de risque d’avalanche. Source : ANENA	41
Figure 18. Taille des avalanches spontanées. Source : ANENA	42
Figure 19. Matrice des risques d’avalanches provoquées et spontanées. Source : Météo-France	43
Figure 20. NivoTest 2. Source : ANENA	44
Figure 21. Méthode des trois filtres. Source : ANENA	45
Figure 22. Aide à la prise de décision. Source : SLF	47
Figure 23. Décès traumatiques, non traumatiques, et en avalanche. Source : SNOSM	49
Figure 24. Evolution du nombre d’accidents mortels et de décès et moyenne mobile sur 10 ans, 1971-2011. Source : ANENA	50
Figure 25. Camp de base du versant népalais du mont Everest suite au séisme et à l’avalanche du 25 avril 2015. Source : AFP, Roberto Schmidt	51
Figure 26. Distribution des décès par avalanche entre différents pays de la Commission internationale de sauvetage alpin, 1983-2015. Source : ICAR	51
Figure 27. Lieu de résidence principale des randonneurs à ski décédés à la suite d’un ensevelissement. Source : Accidentologie des sports de montagne, Bastien Soulé	52
Figure 28. Dessin de Alexis NOUAILHAT	53
Figure 29. Fréquences des scores d’exposition au risque (N = 715). Source : Ian McCammon	53
Figure 30. Analyse des différentes variables jours de la semaine, temps, danger d’avalanche et manteau de neige en fonction des conditions habituelles, des conditions lors des accidents, et des conditions lors des activités de neige. Source : Techel, 2015	54
Figure 31. Arbre des causes de l’ensevelissement en ski de randonnée. Source : fondation-petzl	55
Figure 32. Evolution du nombre d’accidents mortels en randonnée et en hors-piste, moyennes mobiles sur 10 ans, 1981-2011. Source : ANENA	56
Figure 33. Détecteurs de victimes d’avalanches. Source : ski-libre.com	57
Figure 34. Système Recco. Source : ANENA	58
Figure 35. Courbes de survie en fonction de la durée d’ensevelissement (ensevelissement complet). Source : Strapazon 2021 (tiré de Falk 1994, Haegeli 2011, Procter 2016)	59
Figure 36. Graphique taux de survie et localisation par les camarades. Source : SLF	60
Figure 37. Hélicoptère servant à évacuer les blessés (Everest, 2015). Source : AFP, Roberto Schmidt	61
Figure 38. La prise en charge des blessés en domaine skiable. Source : MDEM	63
Figure 39. Organisation du schéma général ORSEC. Source : plan ORSEC de la Savoie	65
Figure 40. Schéma d’organisation du COD. Source : plan ORSEC de la Savoie	66
Figure 41. Parcours de l’autopsie médico-légale chez une victime d’avalanche	67

Figure 42. Etiologies des décès des victimes d'avalanche (N=204). Source : Boyd 2009	71
Figure 43. Résumé des recherches sur les causes de décès par avalanche en 2007. Source : McIntosh 2007	72
Figure 44. Etats américains et accidents d'avalanche. Source : Colorado Avalanche Information Center	73
Figure 45. Etiologies des décès des victimes d'avalanche (N=110). Source : Sheets 2018	73
Figure 46. Evolution de la saturation en oxygène en présence et en absence d'une poche d'air. Source : Roubik 2015	77
Figure 47. Travail respiratoire en présence et en absence d'une poche d'air. Source : Roubik 2015	77
Figure 48. Interruption de l'étude (toutes les interruptions à gauche et les interruptions pour hypoxie à droite). Source : Strapazzon 2017	78
Figure 49. Courbes de survie en fonction des climats. Source : Haegeli 2011	79
Figure 50. Revue de la littérature des études concernant la température corporelle. Source : Boyd 2010	80
Figure 51. Dessin : Alexis NOUAILHA	80
Figure 52. Avalung 2 (à gauche) et avalanche ball (à droite)	82
Figure 53. Discordances clinique-autopsie. Source : Schmidt 2020	85
Figure 54. Classification unifiée des asphyxies en médecine légale. Source : Boghossian 2010	88
Figure 55. Schématisation de la physiopathologie de l'œdème pulmonaire cardiogénique par l'équation de Frank-Starling. Source : Nicolas Peschansky	92
Figure 56. Congestion histologique de différents organes des victimes d'avalanche comparés à d'autres autopsies. Source : Stalsberg 1989	93
Figure 57. Seuils des marqueurs cardiaques en post-mortem retrouvés dans différentes études. Etude de Gonzalez-Herrera(77), Chen(78), Zribi (79), Remmer (80), Ellingsen (81), Zhu (82), Aissaoui (74)	95
Figure 58. Onde J dite d'Osborn à l'ECG, quasiment spécifique de l'hypothermie. Source : e-cardiogram (84)	97
Figure 59. Resuscitation time-line. Source : Meyer 2014	98
Figure 60. Records de températures les plus basses selon différentes situations cliniques. Source : Pasquier et Blancher 2019	99
Figure 61. Swiss system et WMS classification of hypothermia.	100
Figure 62. Revised swiss system.	101
Figure 63. HOPE Score. Source : <a href="https://www.hypothermiascore.org/">https://www.hypothermiascore.org/</a>	103
Figure 64. Sensibilité, spécificités, valeurs prédictives positives et négatives des catécholamines et leurs dérivés O-méthoxyles urinaires. Source : Rousseau 2018	105
Figure 65. Territoire de l'IML de Grenoble	109
Figure 66. Statistiques des accidents d'avalanche saison 2018-2019. Source : ANENA	110
Figure 67. Distribution annuelle du nombre d'accidents mortels et de décès par avalanche en France 1980-2018. Source : ANENA	111
Figure 68. Calcul du nombre de sujets nécessaires (NSN)	118
Figure 69. Déroulement du protocole jusqu'à l'inclusion de la victime.	123
Figure 70. Déroulement du protocole après l'inclusion.	124
Figure 71. Protocole biochimie avalanche.	126
Figure 72. Protocole autopsie avalanche.	128
Figure 73. Algorithme des études quantitatives. Source : lepcam	129
Figure 74. Démarches réglementaires de la Loi Jardé. Source : aispb33	130
Figure 75. Déroulement de l'appel d'offre interne CHUGA 2021	132

# Liste des abréviations

ANENA : Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches

AOI : Appel d'offre interne

AUC : Aire sous la courbe

AVPU : Alert, verbal, pain, unresponsive

BRA : Bulletins d'estimation du risque d'avalanche

CHUGA : Centre Hospitalier Universitaire Grenoble Alpes

CNIL : Commission nationale de l'informatique et des libertés

CNISAG : Centre national d'instruction de ski et d'alpinisme de la gendarmerie

COD : Centre opérationnel départemental

DRCI : Délégation à la recherche clinique et à l'innovation

DVA : Détecteur de victimes d'avalanche

ECLS : Extracorporeal life support

EMHM : Ecole militaire de haute montagne

ENSA : Ecole nationale de ski et d'alpinisme

GHSM : Groupe spécialisé de haute montagne

GIEC : Groupe d'expertise intergouvernemental sur l'évolution du climat

IC : Intervalle de confiance

ICAR MedCom : International commission for alpine rescue / mountain emergency medicine

MDEM : Médecins de montagne

NSN : Nombre de sujets nécessaires

OR : Odds ratio

ORSEC : Organisation de la sécurité civile

PHSM : Peloton spécialisé de haute montagne

PGHM : Peloton de gendarmerie de haute montagne

PSAAD : Titre court du projet “A prospective study of avalanche fatalities : about asphyxia and death”

PU-PH : Professeur universitaire – praticien hospitalier

RCP : Réanimation cardio-pulmonaire

REX : Recours d’expérience

RNIPH : Recherche n’impliquant pas la personne humaine

SDIS : Service Départemental d’Incendie et de Secours

SLF : Institut pour l’étude de la neige et des avalanches

SNOSM : Système national d’observation de la sécurité en montagne

SSM : Sociétés de secours en montagne

TJ : Tribunal Judiciaire

WMS : Wilderness medical society

# Liste des annexes

<b>Annexe 1 : Protocole simplifié RNIPH du projet PSAAD de l'AOI CHUGA 2021</b>	<b>138</b>
<b>Annexe 2 : Manifestation d'intérêt du projet PSAAD à l'AOI 2021</b>	<b>143</b>
<b>Annexe 3 : Lettre d'intention du projet PSAAD à l'AOI CHUGA 2021</b>	<b>147</b>
<b>Annexe 4 : Résultats du projet PSAAD à l'AOI CHUGA 2021</b>	<b>153</b>
<b>Annexe 5 : Lettre au Procureur de la République</b>	<b>156</b>

# Résumé

## **La médecine légale, une aide à la compréhension des mécanismes physiopathologiques des décès des personnes victimes d'avalanche**

Ce projet résulte d'un travail sur la problématique des décès chez les victimes d'avalanche. L'institut médico-légal de Grenoble est l'institut de France le mieux situé géographiquement pour mener ces recherches. Une étude rétrospective menée à Grenoble par le Dr D'Alnoncourt confortait les résultats retrouvés ailleurs, retrouvant l'asphyxie comme étiologie majoritaire des décès chez ces victimes. Cette étude mettait également au jour la présence d'un œdème pulmonaire, pouvant être à l'origine du décès. Nous proposons un protocole multidisciplinaire collectant des données de manière prospective sur l'accident, et des données d'imagerie, d'autopsie, d'anatomopathologie, de biochimie. L'objectif est d'analyser l'étiologie des décès des victimes d'avalanche de manière plus fine. Nous avons réalisé les démarches réglementaires en vue de la réalisation de ce projet, en nous heurtant parfois à la difficulté de prouver que la médecine légale avait sa place dans la recherche clinique. Nous avons postulé à l'appel d'offre interne du CHUGA 2021. A ce jour, le projet n'a pas encore obtenu de financement.

**Mots clés :** avalanche, médecine légale, thanatologie, asphyxie, œdème pulmonaire

## **Forensic medicine, a support to understand physio-pathological mechanisms of avalanche-caused deaths**

We worked on avalanche casualty's deaths. The forensic department of Grenoble is the better placed in France to analyze these deaths. A retrospective study had been carried out by Dr D'Alnoncourt and found asphyxia as the main etiology of deaths in these patients, as found in similar studies. Dr D'Alnoncourt study also showed a pulmonary edema in these victims, which could be the directly implicated in deaths mechanisms. We established a multidisciplinary protocol to collect prospective and complete data about the avalanche casualties, imagery, autopsy, pathology, biochemistry. The objective is to analyze etiology of avalanche victim's deaths more precisely. We went through the regulatory process in order to realize our project, arising the difficulty to make consider forensic medicine as a valid actor in the clinical research. We applied for the 2021 CHUGA's bid. Funding is now being sought.

**Key words:** avalanche, forensic medicine, thanatology, asphyxia, pulmonary edema

# I. Le monde de la montagne

<b>1. GENERALITES AUTOUR DE LA MONTAGNE</b>	<b>24</b>
<b>A. Cadre législatif</b>	<b>24</b>
<b>B. Les activités en montagne</b>	<b>25</b>
<b>C. Le tourisme en montagne</b>	<b>28</b>
<b>D. L'approche des risques en montagne</b>	<b>30</b>
<b>E. La montagne et le changement climatique</b>	<b>31</b>
<b>2. LES AVALANCHES</b>	<b>34</b>
<b>A. Généralités</b>	<b>35</b>
<b>B. Les caractéristiques d'une avalanche</b>	<b>35</b>
a. Déroulement d'une avalanche	35
b. Qualité de la neige	36
<b>C. Les mécanismes des avalanches</b>	<b>36</b>
a. L'avalanche de plaques	37
b. L'avalanche de poudreuse	39
c. L'avalanche de neige humide	39
<b>D. Evaluation du risque d'avalanche</b>	<b>40</b>
<b>E. Les protections contre le risque d'avalanche</b>	<b>47</b>
<b>3. LES ACCIDENTS D'AVALANCHE</b>	<b>48</b>
<b>A. Epidémiologie des accidents de montagne et d'avalanche</b>	<b>48</b>
a. Les accidents de montagne	48
b. Les accidents d'avalanche	49
c. Epidémiologie spatiale	51
d. Les victimes des accidents d'avalanche	52
<b>B. Gravité des accidents d'avalanche</b>	<b>56</b>
a. Les activités concernées	56
b. Equipement et formation	57
<b>C. Survie des victimes d'avalanche</b>	<b>58</b>
<b>D. Organisation des secours</b>	<b>60</b>
a. Petit point d'histoire	60
b. Particularités du secours en montagne	61
c. De nombreuses implications parfois complexes	62
d. Le secours en domaine skiable	62
e. Le secours en domaine de montagne	63
f. Place des associations	67
<b>E. Parcours de l'autopsie médico-légale</b>	<b>67</b>

# 1. Généralités autour de la montagne

## A. Cadre réglementaire

Le principal cadre législatif français destiné aux territoires de montagne est la loi du 9 janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne, dite « Loi Montagne » (2). L'objectif de cette loi est de reconnaître les obstacles naturels particuliers impliqués dans des zones spécifiques. Elle définit les zones de montagne comme les communes avec des conditions climatiques difficiles dues à l'altitude, ou à des fortes pentes, ou les deux. Trois délimitations administratives des montagnes se superposent : les zones de montagne au titre du droit de l'urbanisme (Figure 2), les zones agricoles défavorisées de montagne, et une délimitation des massifs (décret n°2004-69 du 16 janvier 2004). Les zones de massif sont constituées des zones de montagne et leurs territoires complémentaires sur les plans géographique, économique, social, et administratif. Il existe neuf zones de massif :

- Six massifs métropolitains : Alpes, Pyrénées, Jura, Massif central, Vosges, Corse ;
- trois massifs en Outre-Mer : Martinique, Guadeloupe, et La Réunion.

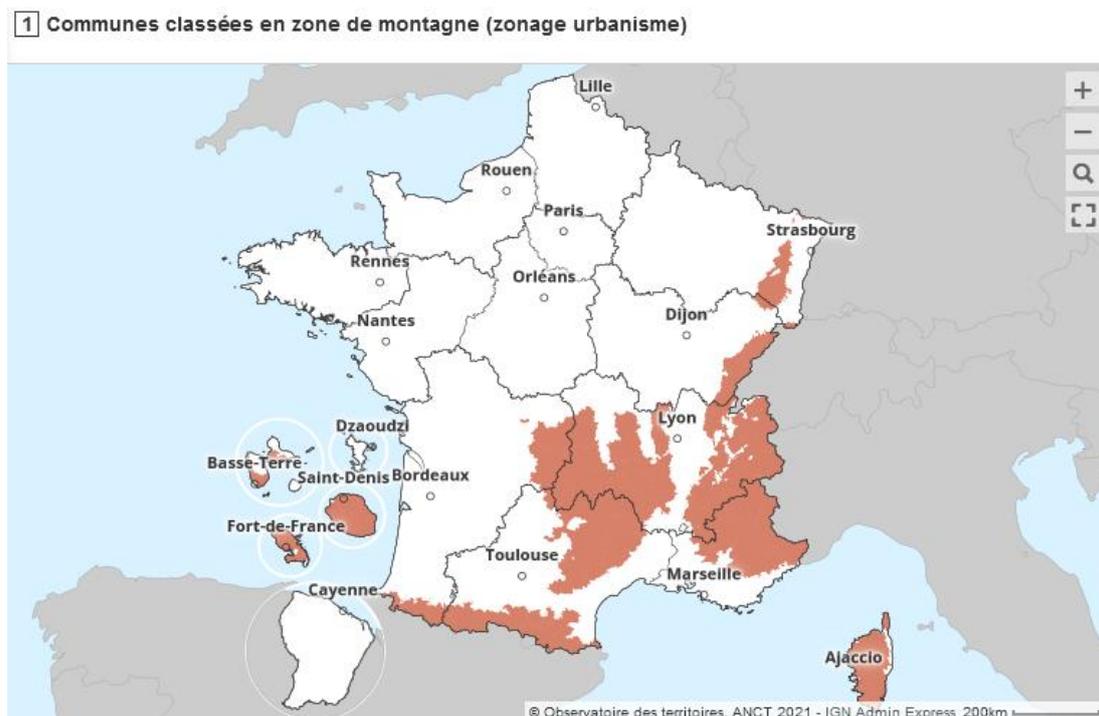


Figure 2. Communes classées en zone de montagne (zonage urbanisme). Source : observatoire des territoires (3)

Les territoires concernés représentent 30 % du territoire métropolitain, 1 commune sur 6, et recensent environ 10 millions d'habitants soit 15 % de la population française (4).

Au sein de ces zones de montagne, on trouve des zones skiabiles avec des pistes de ski. La norme AFNOR précise : « *une piste de ski alpin est un parcours sur neige réglementé, délimité, balisé, contrôlé et protégé des dangers d'un caractère anormal ou excessif, éventuellement aménagé et préparé, réservé à la pratique du ski alpin et des activités de glisse autorisées. Les prestations (balisage, signalisation, information, protection, ouverture et contrôle) ne sont garanties que sur les pistes ouvertes.* ». Cette norme AFNOR est importante car, en l'absence d'autre réglementation locale spécifique, c'est en fonction de cette norme que va être analysée l'obligation de sécurité de l'opérateur de domaine skiable (CA Grenoble 22 mars 2007 n°06/00576). La responsabilité civile de l'exploitant du domaine skiable relative aux accidents survenant sur pistes de ski est de nature contractuelle (forfait), avec une obligation de sécurité de moyen de l'exploitant à l'égard du skieur.

## **B. Les activités en montagne**

Les activités pratiquées en montagne sont multiples et varient en fonction de la saison.

En été (Figure 3), les randonnées pédestres se pratiquent partout, avec des milliers de kilomètres d'itinéraires balisés. Les randonnées peuvent également se faire en VTT, ou sur des via ferrata, c'est-à-dire des randonnées aériennes, notamment le long de parois rocheuses équipées d'une ligne de vie. Il existe de nombreuses activités pour les plus sportifs, et les amateurs de sensations fortes, qu'elles soient aériennes comme le parapente ou le base jump, ou aquatiques comme le canyoning et le rafting. On retrouve des activités moins fréquentes mais ayant de plus en plus de succès, comme la luge d'été.

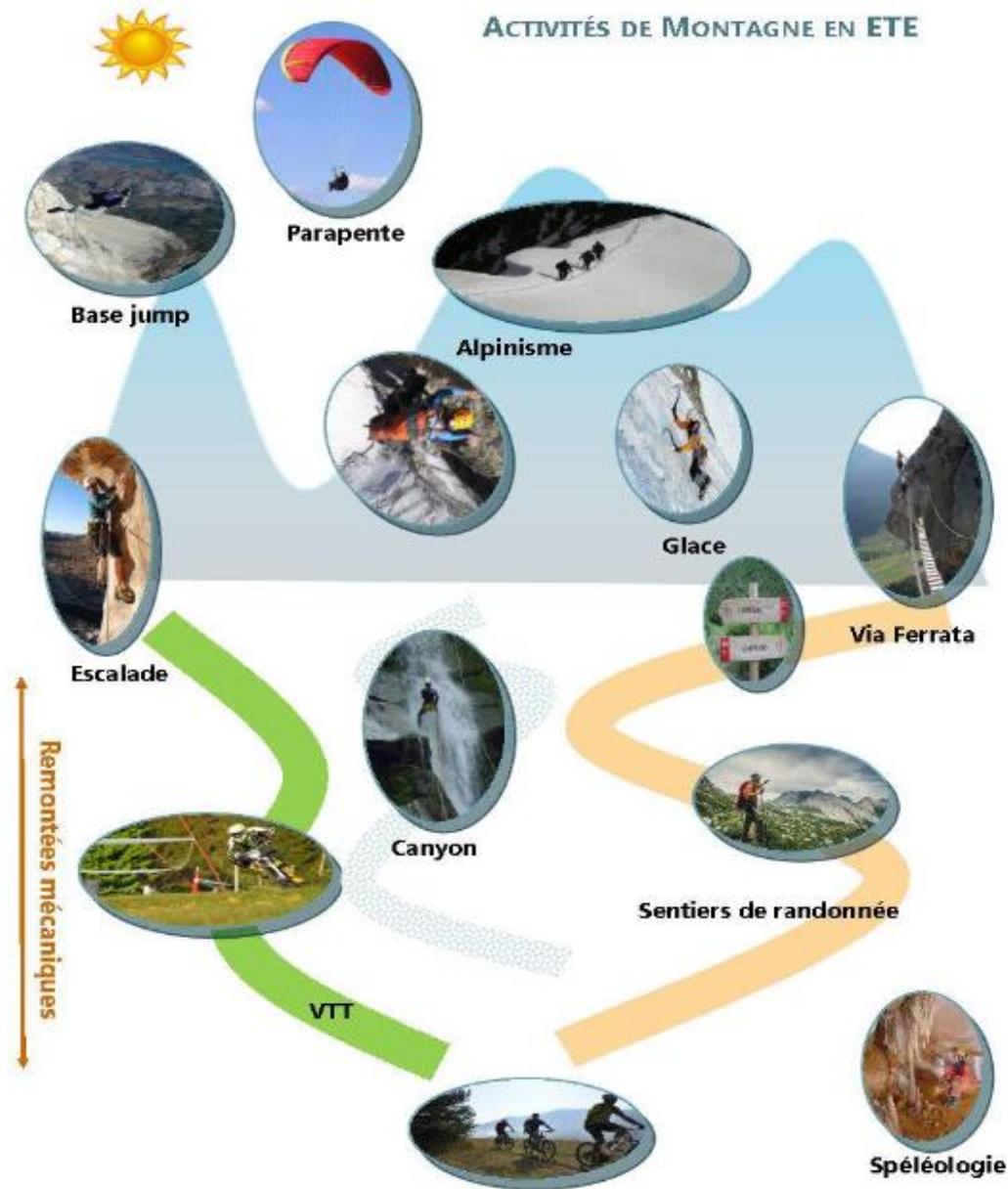


Figure 3. Montagne et diversité des activités (été) (5)

En hiver (Figure 4), les promenades se pratiquent en raquettes ou en motoneige. L'activité phare consiste à dévaler les pistes, sur le domaine skiable ou hors-piste, en ski (alpins ou moins fréquemment nordiques) ou en snowboard. Le ski alpin, même s'il ne concerne qu'une petite partie du territoire de montagne, est une des activités qui drainent le plus de public. A nouveau, certaines activités autrefois anecdotiques ont le vent en poupe, comme la balade en chien de traîneau.



Figure 4. Montagne et diversité des activités (hiver) (6)

L'alpinisme peut se pratiquer aussi bien en été qu'en hiver.

L'activité la plus pratiquée reste la randonnée à pied, même l'hiver (7). La randonnée à pied est à l'origine de la majorité des blessés en montagne (Figure 5).

RENSEIGNEMENTS SUR LES VICTIMES									
ACTIVITES	Décès	Bles.	Disp.	Mal.	Ind.	Fran.	Etrang.	- 15 ans	+ 15 ans
ALPINISME	21 (1nt)	198	0	56	450	543	182	6	719
CANYONISME	4	141	0	3	51	169	30	7	192
CASCADE DE GLACE	0	4	0	1	2	3	4	0	7
ESCALADE/FALAISES	3	75	0	1	71	130	20	0	150
PARAPENTE/DELTA	13	175	2	0	109	254	45	1	298
RANDONNEE A PIED	72 (25nt)	1 896	40	395	1 283	3 372	314	187	3 499
RANDONNEE RAQUETTES	6 (4nt)	57	2	16	93	151	23	2	172
RANDONNEE A SKI	11	247	1	7	93	290	69	3	356
SPELEOLOGIE	0	6	0	0	9	15	0	0	15
VIA FERRATA	0	15	0	3	70	79	9	9	79
V.T.T.	3 (2nt)	650	1	5	19	579	99	107	571
Autres activités sportives	22 (6nt)	386	3	42	151	494	110	73	531
<b>TOTAUX</b>	155	3 850	49	529	2 401	6 079	905	395	6 589
<b>TOTAUX RECAPITULATIFS</b>		<b>6 984</b>				<b>6 984</b>		<b>6 984</b>	

Figure 5. Activité pratiquée par les victimes en montagne. Accidentologie domaine de montagne SNOSM 2020 (8)

### C. Le tourisme en montagne

Le tourisme est une activité majeure de ces territoires de montagne, et apporte une partie importante des ressources nationales touristiques : 30 % des nuitées touristiques françaises.

Les domaines skiables français représentent une des offres les plus importantes du monde, et attirent de nombreux clients, majoritairement français, mais aussi étrangers, principalement européens (Figure 6). Les retombées sont estimées à 20 milliards d'euros (9), et sont à l'origine de nombreux emplois (Figure 7).

En France, la montagne est particulièrement attirante : 10 % des Français réalisent plusieurs voyages par an à la montagne, 20 % y séjournent au moins une fois chaque année, et 25 % plus occasionnellement. Sur les 50 % de résidents français qui ne partent pas à la montagne, la moitié sont intéressés par cette destination. Un des principaux freins reste le coût de ce tourisme, même si le forfait français de ski est un des moins chers du monde

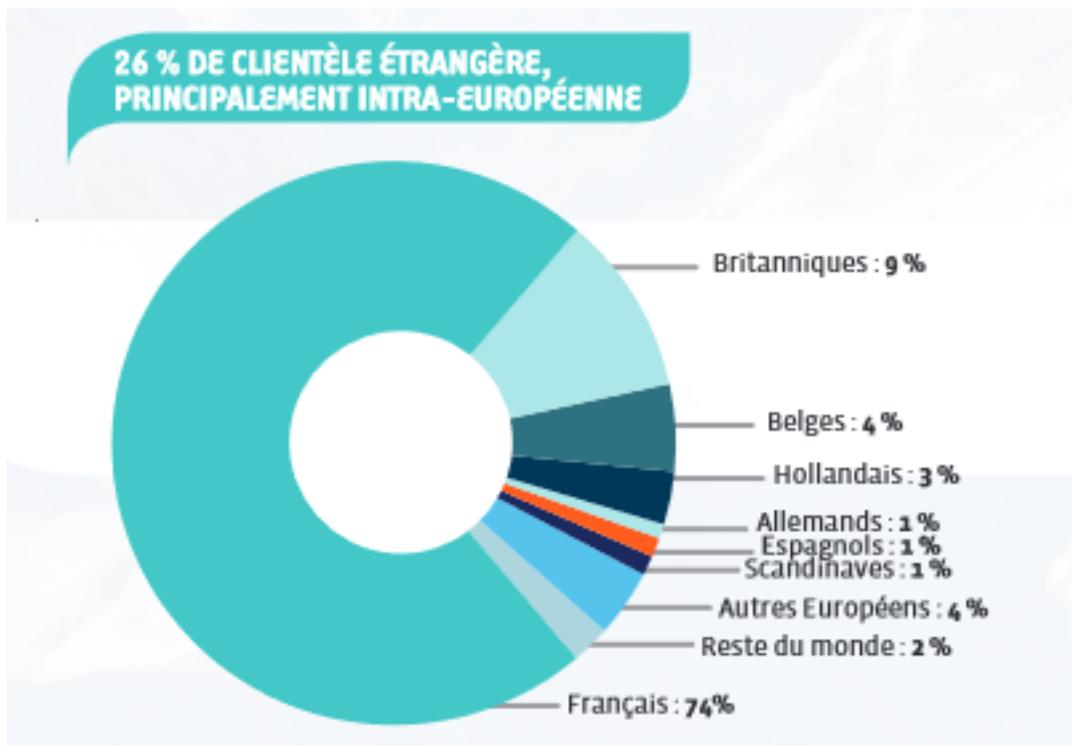


Figure 6. Clientèle du domaine skiable français indicateur 2019-2020. Indicateurs et analyses 2020 (10)

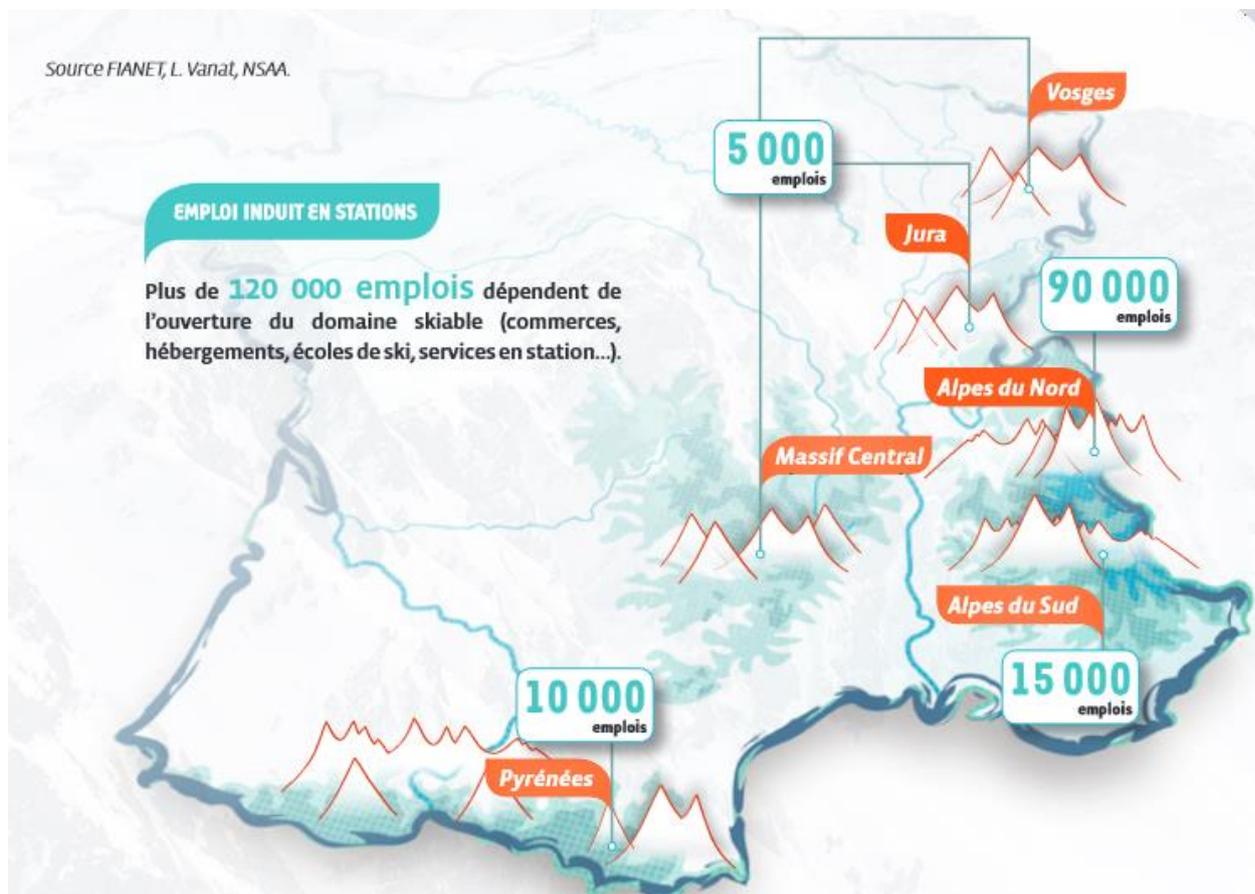


Figure 7. Emploi induit en stations indicateur analyse 2019-2020. Indicateurs et analyses 2020 (10)

## D. L'approche des risques en montagne

La vie moderne s'accompagne d'une transformation des valeurs, avec une moins grande importance accordée au travail, et parallèlement, la promotion des loisirs. Le nombre exact des pratiquants des sports de montagne est difficile à évaluer, notamment en dehors des sentiers classiques. La tendance sociologique constatée semble être l'augmentation du nombre d'adeptes de la montagne, et des sensations fortes, tendance étudiée par exemple dans l'escalade (11).

Le sport de montagne est également pratiqué par des gens qui ne sont pas assez préparés, mentalement et/ou physiquement, et n'ont pas le savoir-faire technique nécessaire. Ce phénomène est également soutenu par les réseaux sociaux : visibilité de la performance, souhait de prendre la meilleure photo possible indépendamment des risques (12). L'amélioration de l'accès à certaines zones autrement difficilement praticables donnent parfois une impression de fausse sécurité. La prise de risque sportive est paradoxalement favorisée, dans notre société où la sécurité (par l'Etat, par les secours...) est de plus en plus recherchée (13). Des zones d'*aroundoor* se développent de plus en plus, intermédiaire entre l'*indoor* artificiel et l'*outdoor* : via ferrata, acrobanches, témoignant de cette vulgarisation des sports de nature (14). La pratique des sports de glisse fait particulièrement référence à l'idée de se surpasser, et d'obtenir des sensations fortes : 2/3 des adolescents recherchent cet aspect en pratiquant les sports de glisse (Figure 8).

Un autre aspect que l'on peut évoquer est l'acceptabilité sociale de ce type de pratique à risque comparée à d'autres, qui pourtant vont parfois comporter les mêmes recherches de sensation et les mêmes objectifs psychologiques voire psychiatriques allant parfois jusqu'au conduites para-suicidaires (toxicomanie, conduites routières) (15).

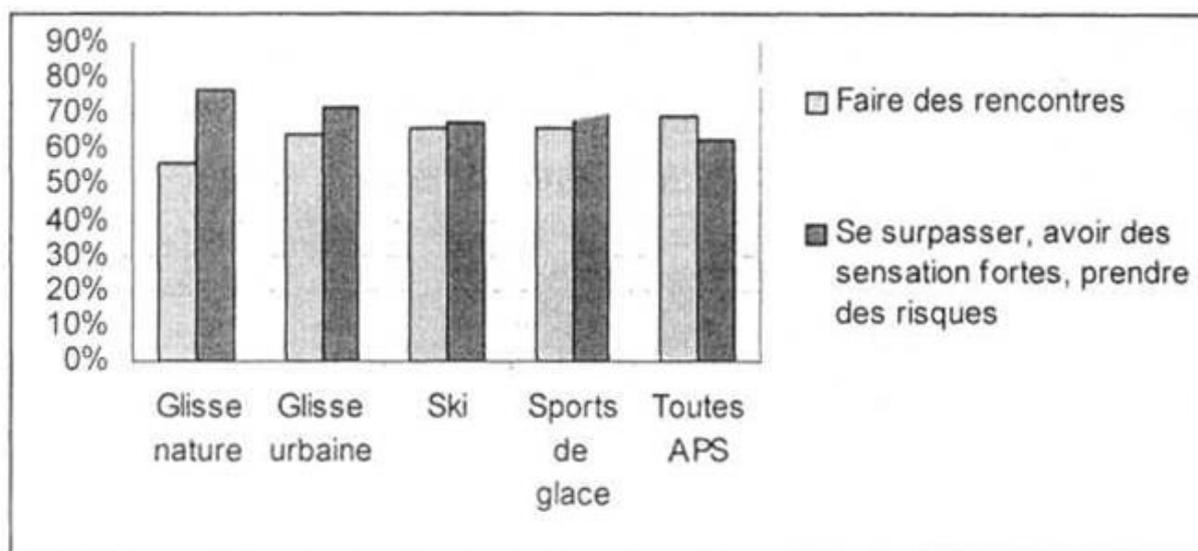


Figure 8. Les motivations selon les sports de glisse pratiqués. Enquête Pratique sportive des adolescents, ministère de la Jeunesse, des sports et de la vie associative, novembre 2001 (16)

## E. La montagne et le changement climatique

Les montagnes sont des milieux fortement impactés par la transition écologique. De nombreuses problématiques sont soulevées par l'imprévisibilité de l'enneigement naturel et la gestion de la ressource en eau. Cela questionne la couverture neigeuse dans beaucoup d'endroits. Les défis des territoires montagnards sont pluriels : changement climatique, surexploitation des ressources, développement touristique, recul agricole accompagné de l'expansion du tissu urbain, accroissement des disparités régionales, et dégradation de ces milieux naturels fragiles (17).

Pour estimer l'impact du réchauffement climatique sur l'enneigement, le Centre d'étude de la neige (CNRM-GAME) a recours à des outils de modélisation : SAFRAN (conditions météorologiques) et CROCUS (manteau neigeux). Plusieurs scénarios ont été envisagés dans le cadre du projet SCAMPEI à partir de plusieurs hypothèses d'émission des gaz à effet de serre et de modèles de climat. Des tendances communes à ces différentes projections se dégagent : les territoires du Sud sont plus impactés que les territoires septentrionaux (Jura et Alpes du Nord), les zones d'altitude basse et moyennement sont les plus fortement touchées (l'enneigement y serait plus tardif et la fonte serait accélérée au printemps).

La réduction des hauteurs de neige printanière à 1800 m atteindrait 50 % pour 2050 et 80 % pour 2100 (Figure 9). Les durées d'enneigement seraient réduites de 20 % en 2050 et 50 % en 2100 (Figure 10).

D'après les derniers rapports du Groupe d'expertise intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les modifications que va provoquer le réchauffement climatique en altitude entraînera une augmentation des risques pour les populations en montagne, notamment les risques de glissements de terrain, de chutes de pierre, d'inondations, et d'avalanches (18).

Une étude de 2021 s'est intéressée à l'effet possible du changement climatique sur les accidents d'avalanche (19), la fréquence des accidents impliquant des humains est difficilement prévisible car dépendante de l'évolution des comportements. En revanche, les traumatismes pourraient devenir plus fréquents du fait de l'augmentation de la rugosité du terrain et de l'amincissement de la couche de neige. Une densité augmentée de la neige et la présence de débris dans les avalanches seraient à l'origine d'une plus grande difficulté pour respirer chez les victimes ensevelies.

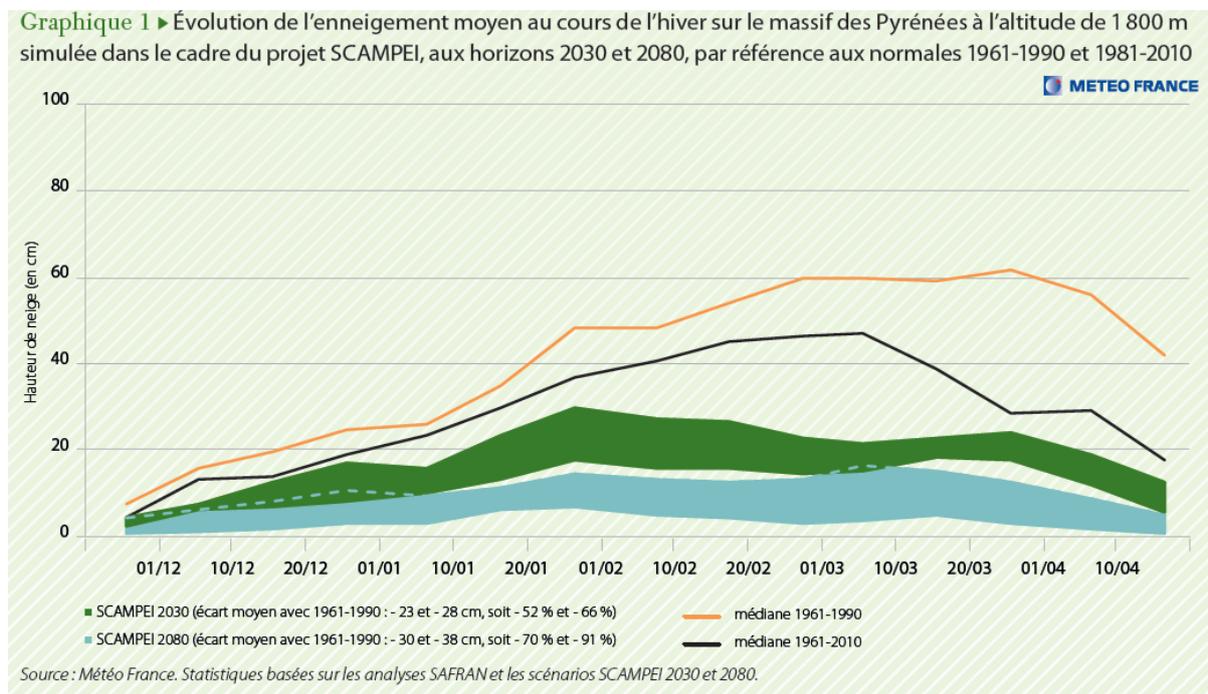


Figure 9. Evolution de l'enneigement moyen au cours de l'hiver (20)

**Carte 1** ► Réduction de la hauteur de neige printanière (en %) sur les Alpes à 1 800 m pour la fin du siècle selon différents scénarios (faisant varier la concentration en CO<sub>2</sub>)

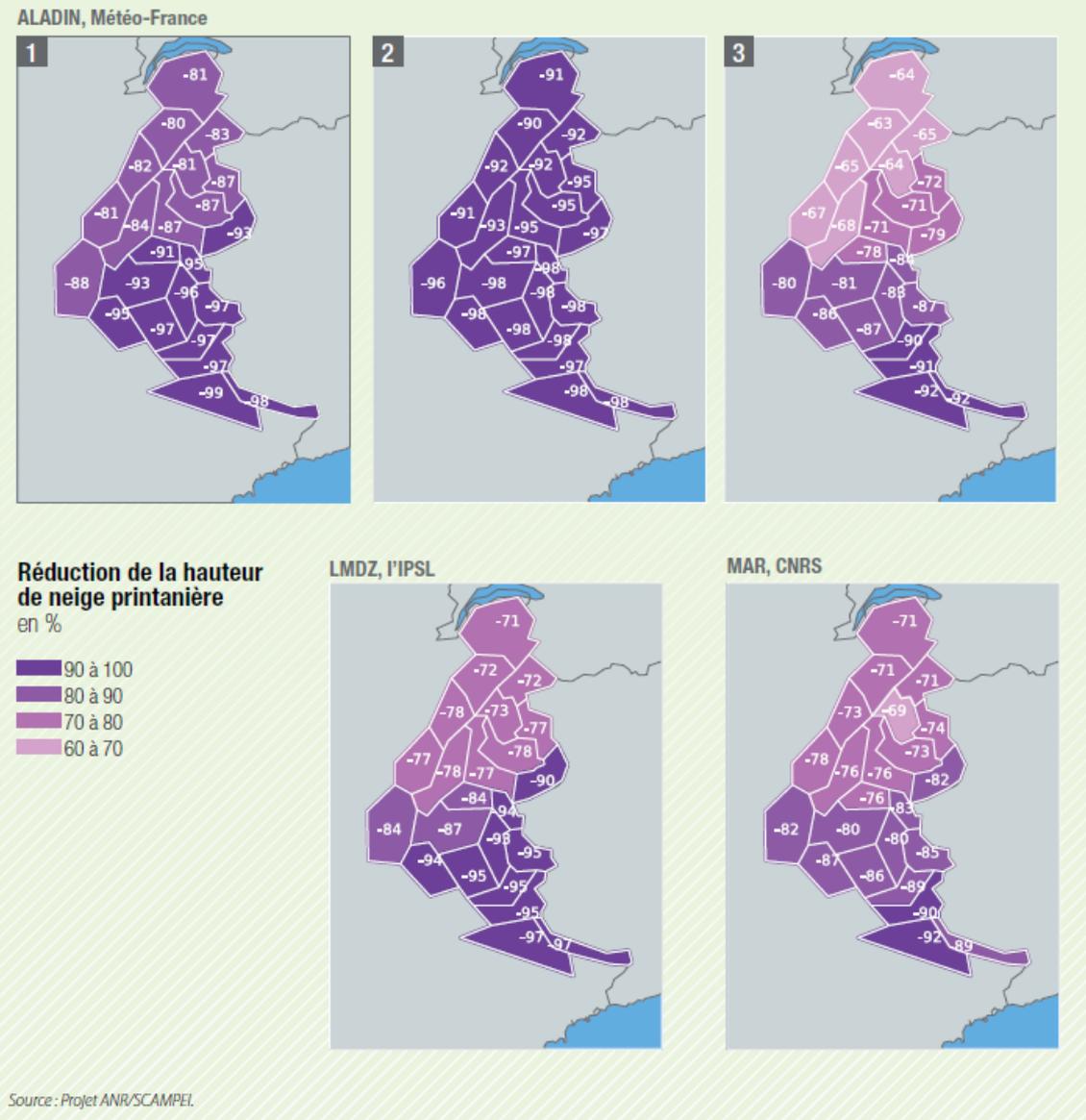


Figure 10. Réduction de la hauteur de neige printanière sur les Alpes (20)

## 2. Les avalanches



Figure 11. Avalanche dans les Alpes, peinture de 1803 par Philippe-Jacques de Loutherbourg (21)



Figure 12. Avalanche (22)

## **A. Généralités**

La montagne a toujours fasciné, autant qu'elle effraie. Parmi tous les dangers qu'elle recèle, un des plus connus et des plus impressionnants est le risque d'avalanche.

L'avalanche est un phénomène géologique physique naturel constitué par le détachement d'une masse de neige qui va dévaler le versant d'une montagne (23). Elle représente une menace présente dans toutes les régions montagneuses enneigées du monde. Ce phénomène se caractérise par son danger, du fait de ses capacités de destruction et d'enfouissement, et des dommages qu'il peut causer, qu'ils soient environnementaux, matériels, ou humains. La compréhension des avalanches permet de limiter les dégâts qu'elle peut causer.

Un des événements les plus marquants de la région de Savoie fut la catastrophe du Val d'Isère en février 1970 à l'origine de 39 morts et 40 blessés.

## **B. Les caractéristiques d'une avalanche**

Une avalanche est un phénomène physique se produisant lorsqu'un ensemble de caractéristiques devient propice à son départ (24) : la quantité et la qualité de la neige, l'inclinaison de la pente et la pesanteur à l'origine d'une énergie cinétique dynamique et un démarreur provoquant la rupture. La dynamique des fluides permettant de comprendre son écoulement. Cette menace se réalise selon la géographie et la météo d'un lieu à un moment et à un endroit donnés.

### **a. Déroulement d'une avalanche**

Le déclenchement d'une avalanche va venir d'une instabilité interne du manteau neigeux, ou d'une surcharge ponctuelle, externe au manteau neigeux.

Il y a un départ (rupture) puis un écoulement et enfin un arrêt (dépôt) de l'avalanche.

- Le départ peut être :
  - o spontané, lié aux seules caractéristiques du manteau neigeux, ou provoqué par des causes extérieures, humaines involontaires ou volontaires ou non humaines ;
  - o ponctuel, partant d'un point ou linéaire partant d'une plaque ;
  - o de surface, dans l'épaisseur du manteau neigeux ou de fond, sur le sol.

- L'écoulement dépend de :
  - la forme du terrain : avalanche de versant sur une pente ouverte ou avalanche de couloir ;
  - facteurs dynamiques : avalanche en aérosol de neige poudreuse au niveau du front, ou avec panache derrière le front, ou coulante sans nuage ;
  - la présence ou de l'absence de neige reprise, et de la présence ou de l'absence de blocs.
- L'arrêt va se faire selon :
  - la rugosité superficielle : dépôt fin si faible ou grossier si forte ;
  - la qualité de la neige : dépôt humide ou sec ;
  - la présence ou l'absence de souillure et débris.

b. Qualité de la neige

La qualité de la neige dépend :

- de sa teneur en eau liquide : neige sèche, neige humide, neige mouillée ;
- de sa cohésion : neige pulvérulente, plaque friable, plaque dure ;
- du type de neige : récente, fraîche, à grains fins ou à grains ronds.

### **C. Les mécanismes des avalanches**

A chaque chute de neige, sa qualité va varier selon de nombreux paramètres, notamment météorologiques, et évoluer dans le temps en fonction d'eux, et de son propre poids. Le manteau neigeux va rester stable tant que sa résistance est supérieure ou égale aux effets de la pesanteur.

La neige ancienne (« old snow avalanche »), avec la persistance de couches neigeuses faibles (« persistent weak layer »), est particulièrement dangereuse et considérée comme étant à l'origine de deux tiers des avalanches (25).

Les caractéristiques des avalanches ayant entraîné des accidents mortels sont les suivantes (26) :

- les terrains des accidents mortels sont en général non sécurisés, avec une zone de rupture typique entre 35 et 40° d'inclinaison, à l'ombre, orientés au Nord et à une altitude comprise entre 2200 et 2600 mètres ;
- les accidents d'avalanche ont très majoritairement lieu dans des avalanches déclenchées et non spontanées (90-95%) ;

- il s'agit généralement d'avalanches de plaques de neige (98%) et plus rarement d'avalanches de neige mouillée ;
- l'avalanche accidentelle typique a une longueur de 310 m, une largeur de 70 m et une hauteur de rupture de 50 cm.

a. L'avalanche de plaques

L'avalanche de plaques provient de la rupture d'une couche de neige dure, tassée par le vent, sur une zone fragile, à l'origine d'une fracture linéaire du manteau neigeux, ligne brisée générant le mouvement d'une plaque de neige. Elle est souvent provoquée par une surcharge transmise à la couche fragile qui va s'effondrer en compression et entraîner la rupture en cisaillement des couches supérieures. Le bruit provoqué est caractéristique.

C'est la couche fragile qui est déterminante (Figure 13), avec des grains anguleux, du givre de surface recouvert, du grésil ou une croûte de regel. Les fractures limitées apparaissent dans la neige fraîche en train de se déposer (vent), ou en cours d'humidification (pluie).

Elle va provoquer une avalanche lente (50 km/h), généralement importante, pouvant mesurer jusqu'à plusieurs centaines de mètres sur des départs linéaires, et mettant en jeu des volumes très importants selon la profondeur des couches. Elle est le danger principal du ski, car la présence d'une plaque n'est pas facile à repérer (Figure 14).

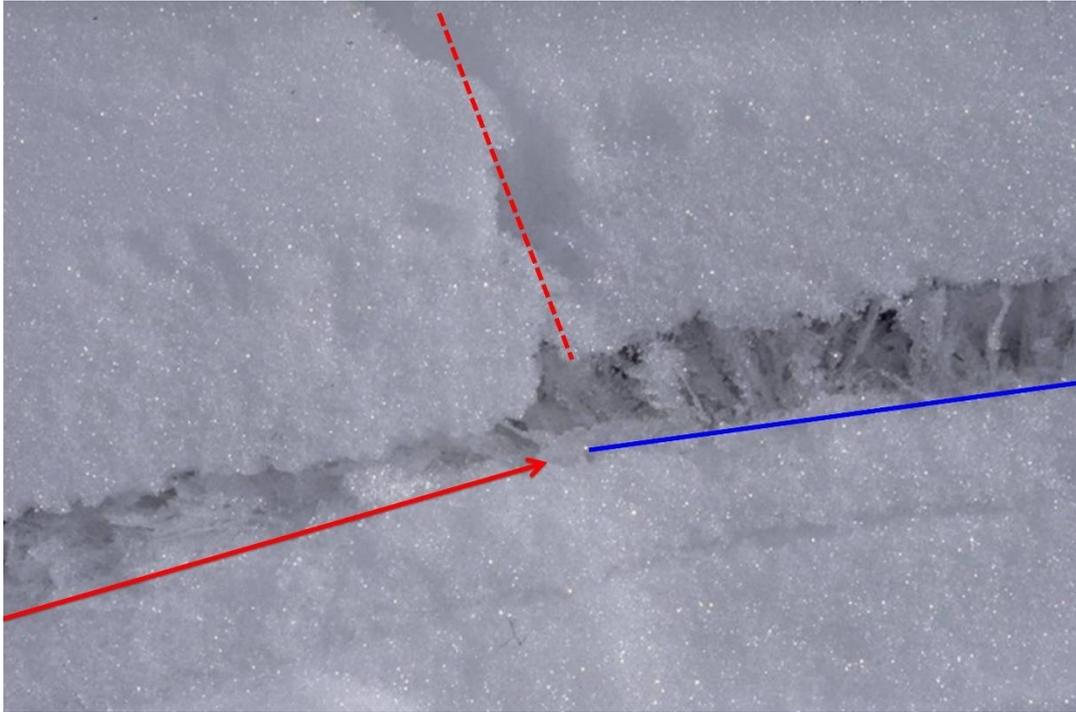


Figure 13. Couche fragile constituée de cristaux de givre de surface recouverts de neige fraîche. La couche est intacte à droite de l'image, et brisée à gauche. La rupture s'est propagée dans la couche fragile depuis la gauche. Au milieu de l'image, une fissure de retrait s'est créée dans la plaque, ce qui a arrêté la fissure qui progressait dans la couche fragile. (27)



Figure 14. Avalanche de plaque dans la région de Grialetsch. (27)

b. L'avalanche de poudreuse

Une neige froide et sèche, présente en grande quantité après d'abondantes chutes de neige fraîche, peut donner naissance à un aérosol qui va dévaler les versants à très grande vitesse (100-400 km/h), à l'origine d'un souffle (onde de pression/dépression allant jusqu'à 3 bars) pouvant provoquer des dégâts même au-delà du périmètre de l'avalanche. Ces avalanches sont spectaculaires à voir (Figure 15).



Figure 15. Avalanche de poudreuse. (28)

c. L'avalanche de neige humide

Ces avalanches sont parfois appelées avalanches de neige coulante. Elles sont dues à un écoulement granulaire de neige avec la présence d'un frottement interne. Elles se déclenchent en général spontanément et en cas de réchauffement du fait de la fragilisation des liaisons entre les cristaux de neige par l'eau de fonte. Il s'agit d'une neige lourde et dense, à l'origine d'une avalanche de vitesse très lente (10 à 20 km/h) qui va raboter le terrain et provoquer des dégâts importants mais localisés (Figure 16).

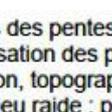


*Figure 16. Dépôt d'une avalanche coulante dans la vallée de la Sionne. (28)*

## **D. Evaluation du risque d'avalanche**

De nombreux critères sont à prendre en compte pour évaluer le risque d'avalanche : la neige, le manteau neigeux, la météo (vent, précipitations, température), le terrain (déclivité, exposition, altitude et forme), et les facteurs humains.

Le risque d'avalanche peut être évalué et retranscrit sur une échelle allant de 1 (risque faible) à 5 (risque très fort) (Figure 17). L'EvalNivo© est une grille permettant une évaluation du risque local.

Échelle de risque d'avalanche (à partir de la saison 2018/2019) – Version France				
	Indice de risque	Icône	Stabilité du manteau neigeux	Probabilité de déclenchement
5	Très fort		L'instabilité du manteau neigeux est généralisée.	De nombreux départs spontanés de très grandes avalanches, parfois d'ampleur exceptionnelle, sont à attendre, y compris en terrain peu raide*.
			Le manteau neigeux est faiblement stabilisé dans la plupart* des pentes suffisamment raides.	Déclenchements d'avalanches probables même par faible surcharge** dans de nombreuses pentes suffisamment raides*. Dans certaines situations, de nombreux départs spontanés de grandes, et parfois très grandes avalanches, sont à attendre.
4	Fort		Dans de nombreuses* pentes suffisamment raides, le manteau neigeux n'est que modérément à faiblement stabilisé.	Déclenchements d'avalanches possibles parfois même par faible surcharge** et dans de nombreuses pentes suffisamment raides*, surtout dans celles généralement décrites dans le bulletin. Dans certaines situations, quelques départs spontanés de grandes, et parfois très grandes avalanches, sont possibles.
3	Marqué		Dans quelques* pentes suffisamment raides, le manteau neigeux n'est que modérément stabilisé. Ailleurs, il est bien stabilisé.	Déclenchements d'avalanches possibles surtout par forte surcharge** et dans quelques pentes suffisamment raides*, généralement décrites dans le bulletin. Des départs spontanés de très grandes avalanches ne sont pas à attendre.
2	Limité		Le manteau neigeux est bien stabilisé dans la plupart des pentes.	Les déclenchements d'avalanches ne sont en général possibles que par forte surcharge** dans de très rares pentes raides*. Seules des coulées ou des avalanches de taille moyenne peuvent se produire spontanément.
1	Faible			

\* Caractéristiques des pentes

- La localisation des pentes les plus dangereuses est généralement précisée dans le bulletin (altitude, orientation, topographie, etc.)
- Terrain peu raide : pente insuffisante pour que la neige parte en avalanche.
- Pente suffisamment raide : pente propice à un départ ou déclenchement d'avalanche en raison de son inclinaison, la configuration du terrain, la proximité des crêtes, ...
- Pente raide : pente particulièrement propice aux avalanches notamment en raison de sa forte inclinaison, sa topographie ou de la nature du sol.

\*\* Surcharge :

- faible : par exemple skieur/surfeur isolé évoluant en douceur et sans tomber, raquetiste, groupe avec distances d'espacement entre eux (d'au moins 10 m)
- forte : par exemple plusieurs skieurs/surfeurs sans distances d'espacement entre eux, dameuse, tir d'un explosif

Départ spontané : sans intervention humaine  
Déclenchement : concerne les avalanches provoquées par surcharge, notamment par le(s) skieur(s).

Figure 17. Echelle de risque d'avalanche. (29)

L'indice du risque d'avalanche est défini par une échelle européenne et figure dans les Bulletins d'estimation du risque d'avalanche (BRA). Ces bulletins paraissent de mi-décembre à fin avril. L'indice est déterminé par les nivologues grâce à une analyse faite à l'échelle d'un massif montagneux. Le prévisionniste va s'intéresser aux risques :

- d'avalanches provoquées :
  - o nombre de pentes dangereuses : < 10%, 10-30%, > 30%, > 2/3 des pentes ;
  - o facilité de déclenchement : pour différentes surcharges ;
- d'avalanches spontanées :
  - o nombre d'avalanches prévues : 0 à 10, 10 à 30, plus de 30 pour 100 km<sup>2</sup> ;
  - o taille des avalanches prévues : de la coulée à la grosse avalanche (Figure 18).

Appellation	Écoulement	Dégâts potentiels	Taille
<b>Coulée</b>	déplacement de neige sans risque d'enfouissement (risque de chute en pente raide)	Relativement sans danger pour les personnes, sauf en pente raide (chute)	longueur < 50 m volume < 100 m <sup>3</sup> cassure maxi < 20cm
<b>Petite avalanche</b>	S'arrête avant le bas de la pente	Pourrait enfouir, blesser ou tuer une personne	longueur < 100 m volume < 1000 m <sup>3</sup> 20 cm <=cassure maxi < 50 cm
<b>Avalanche moyenne</b>	Atteint le bas de la pente	Pourrait enfouir et détruire une voiture, endommager un camion, détruire un petit immeuble ou briser quelques arbres	longueur <1000 m volume < 10.000 m <sup>3</sup> 50 cm <=cassure maxi < 100 cm
<b>Grosse avalanche</b>	traverse des zones peu inclinées (nettement < 30° ) sur des distances > 50 m et peut atteindre les fonds de vallée	Pourrait enfouir, détruire des wagons, gros camions, plusieurs immeubles ou des zones boisées	longueur >= 1000 m volume >= 10.000 m <sup>3</sup> cassure maxi >= 100cm

Figure 18. Taille des avalanches spontanées. (30)

Météo-France a complété le texte de l'échelle européenne par deux matrices (Figure 19), avec établissement d'une carte de Vigilance. La Vigilance orange correspond à un niveau de risque très fort mais relativement habituel. La Vigilance rouge est liée à des situations exceptionnelles (aucune depuis la création de la procédure Vigilance en octobre 2001).

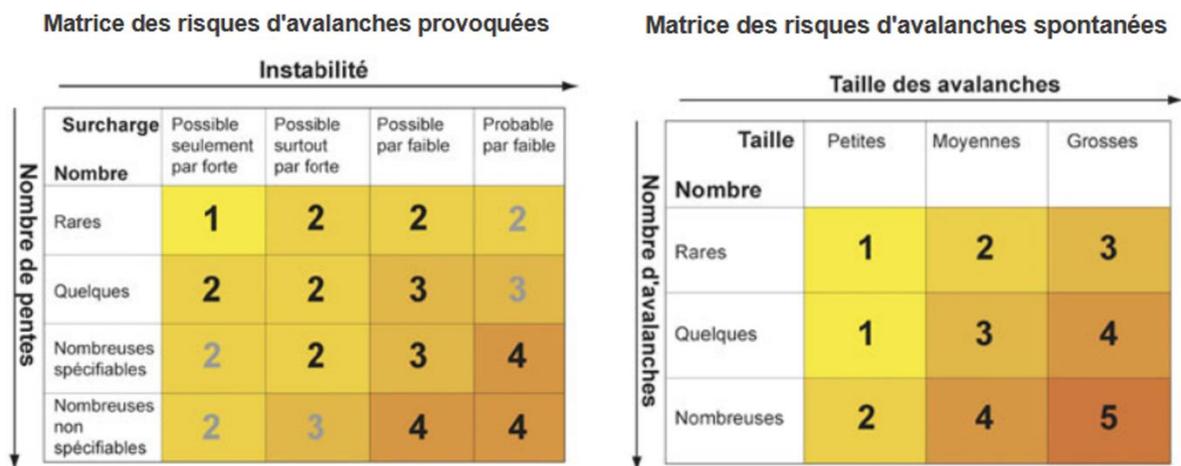


Figure 19. Matrice des risques d'avalanches provoquées et spontanées. (30)

Il existe différents outils d'aide à la décision à utiliser par les pratiquants :

- la formule 3x3 de Munter s'interroge sur trois séries de variables (condition, terrain, et homme) à trois niveaux spatiaux et temporels successifs (général, local et zonal) ;
- la méthode de réduction de Munter, plus simple que la précédente, évalue le risque en fonction de trois facteurs de réduction (pente, orientation et comportement) ;
- Le NivoTest 2, règle à calcul de poche comportant un disque gradué et 2 listes de questions portant sur 3 variables (conditions nivo-météorologiques, données topographiques des lieux et caractéristiques du groupe de randonneur) (Figure 20) ;
- la méthode des trois filtres décisionnels (Figure 21) ;
- les différents tests de stabilité du manteau neigeux : test du bâton, test avec les skis, test de Faarlund (méthode norvégienne), test en compression, Stuffblock, Rutschblock et système Nivolog.

La SLF a créé une table de prise de décision (Figure 22).

Certaines applications payantes proposent également des services pour aider à sécuriser certaines sorties (31).

Quelques règles simples existent pour évaluer le danger d'avalanches (source : SLF) :

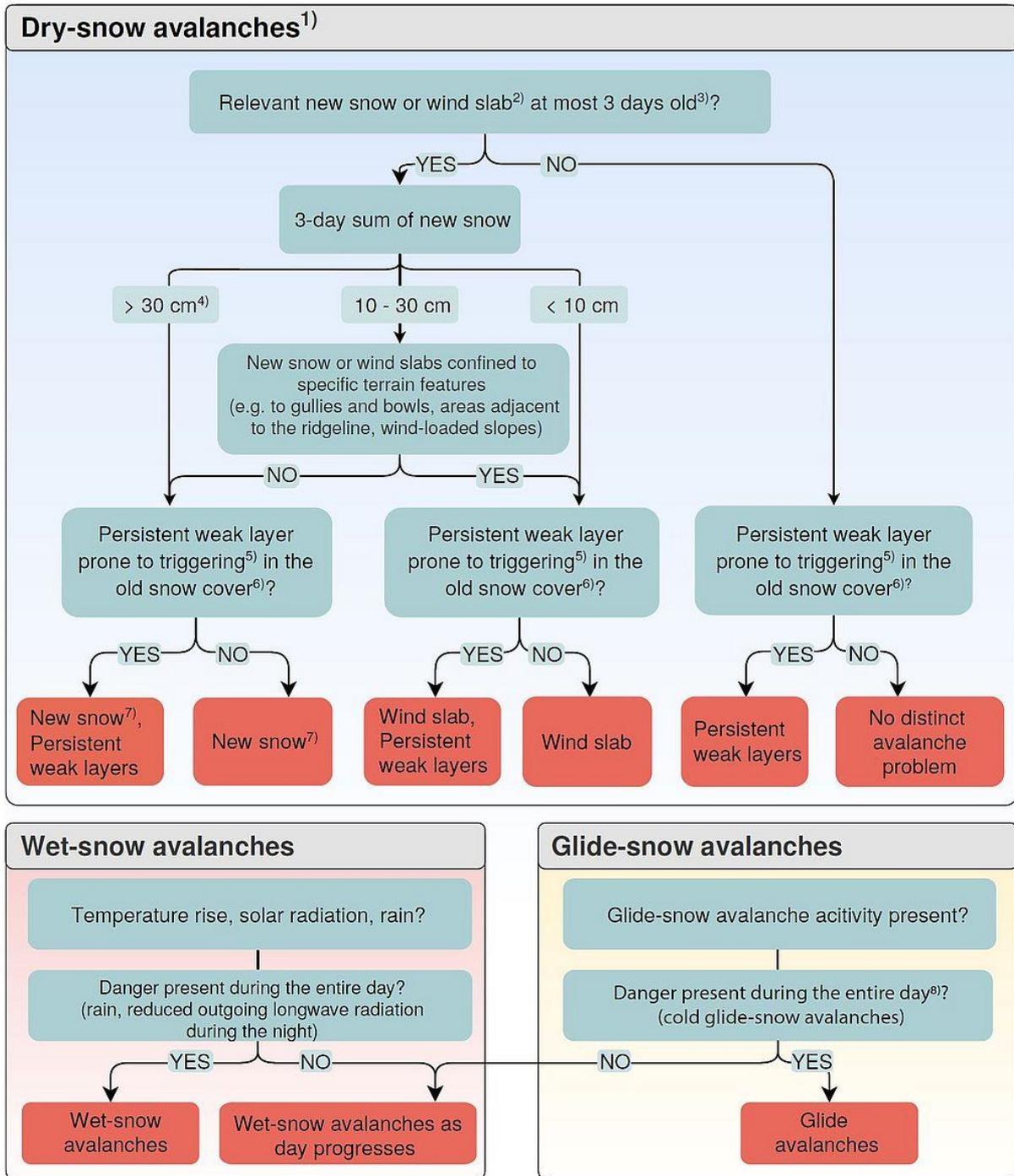
- neige fraîche + vent = danger d'avalanches ;
- réchauffement rapide et marqué de la neige aux alentours de 0° = augmentation à court terme du danger d'avalanches ;
- les signaux d'alarme indiquent un danger d'avalanches ;
- plus la pente est raide et à l'ombre, plus elle est dangereuse ;
- les conditions avalancheuses sont importantes, mais c'est le contrôle de soi qui prime, car 90 % de toutes les avalanches lors des randonnées et descentes hors-piste sont déclenchées par l'homme.



Figure 20. NivoTest 2. (32)

<b>3 types de critères</b>				
		<b>facteur humain</b>	<b>conditions (météo - neige)</b>	<b>terrain</b>
<b>3 filtres décisionnels successifs</b>	<b>filtre à la préparation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mon état physique et psychique ?</li> <li>condition physique et psychique des participants ?</li> <li>niveau technique et expérience des participants ?</li> <li>équipement ?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>prévisions du BRA</li> <li>prévisions météo</li> <li>renseignements auprès de guides locaux et d'autres personnes compétentes</li> <li>autres informations (Internet, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>carte au 1/25.000</li> <li>guides, topos, photos</li> <li>connaissance personnelle du terrain</li> <li>localisation et évaluation des pentes les plus raides (<u>passages clés</u>)</li> <li>localisation des <u>points de décisions</u></li> <li>études des <u>alternatives</u></li> </ul>
	→	<b>maintien du projet ? solution alternative ? annulation ?</b>		
	<b>filtre sur le terrain :</b> - en général - aux points de décisions	<p><b>arrivée sur le terrain</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>contrôle des ARVA et de l'équipement</li> </ul> <p><b>« en route » et aux points de décision</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><u>mon état physique / psychique</u> ?</li> <li>condition physique et psychique des participants ?</li> <li>niveau à ski des participants ?</li> <li>concertation avec les autres groupes présents</li> <li>contrôle de l'horaire</li> </ul>	<p><b>neige</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>danger principal : neige froide ? redoux ? ensoleillement ? autre ?</li> <li>le danger est-il plutôt en altitude ou en bas ?</li> <li>évaluation personnelle du risque local d'avalanche au moyen de la <u>grille d'évaluation</u></li> </ul> <p><b>météo / tendance</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>visibilité / nébulosité / vent</li> <li>précipitations</li> <li>température</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ma représentation mentale est-elle juste ?</li> <li>✓ relief</li> <li>✓ orientation des pentes</li> <li>✓ inclinaison des pentes</li> <li>✓ traces de ski</li> <li>les traces de ski déjà présentes sont-elles adaptées au terrain et aux conditions ?</li> </ul>
→	<b>maintien du projet ? + de précautions ? solution alternative ? renoncement ?</b>			
<b>filtre avant les passages clés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>quel est <u>mon état physique et psychique</u> ?</li> <li>fatigue / niveau à ski / équipement des participants ?</li> <li>communication dans le groupe</li> <li>ajustement des précautions :</li> <li>corridor</li> <li>skier dans la trace</li> <li>lieux d'attente protégés</li> <li>contournement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nouvelle évaluation personnelle du risque local d'avalanche au moyen de la <u>grille d'évaluation</u></li> <li>visibilité</li> <li>vent</li> <li>ensoleillement et rayonnement</li> <li>ampleur d'une éventuelle plaque de neige (dépend entre autre du niveau de risque)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>localisation et évaluation de la pente la plus raide à considérer ?</li> <li>quelle pente me domine ?</li> <li>relief aval : barres, étranglement, dénivelé</li> <li>proximité des crêtes</li> <li>hors-piste fréquenté : la pente est-elle réellement souvent parcourue ?</li> </ul>	
→	<b>maintien de l'engagement dans le passage ? plus de précautions ? renoncement ?</b>			

Figure 21. Méthode des trois filtres. (33)



Remarques concernant l'utilisation de l'arbre de décision ci-dessus :

- 1) Si dans des situations (généralement) favorables, il n'est pas clair de déterminer quel problème cause le danger, on utilise « dry snow avalanche »
- 2) Présence d'une couche de nouvelle neige ou d'une plaque : le danger causé est égal ou plus grand que celui des couches faibles
- 3) Le problème des plaques perdure plus de trois jours après leur départ et tant qu'elles sont reconnaissables

- 4) Si le vent souffle à plus de 100 km/h pendant une chute de neige, on utilise « new snow and wind slab »
- 5) Si une couche faible est sur le point de céder : la couche faible est au niveau de la couche de rupture des avalanches et identifiée selon le profil de neige => test de stabilité de la neige et dans le premier mètre de neige
- 6) La couche faible n'est pas l'interface entre la nouvelle neige et la neige ancienne mais le départ de plaque peut inclure de la neige ancienne
- 7) Si après une chute de neige des plaques se sont formées, elles contribuent au danger : il faut utiliser « new snow and wind slab »
- 8) Les avalanches de neige chaude (probabilité de déclenchement supérieure durant la journée) ont les mêmes caractéristiques que les avalanches de neige humide à mesure que la journée avance car elles impliquent les mêmes mesures de gestion de risque sur le terrain

Figure 22. Aide à la prise de décision. (34)

## **E. Les protections contre le risque d'avalanche**

Il y a différents moyens pour protéger du risque d'avalanche :

- déclenchement artificiel des avalanches par une explosion contrôlée pour sécuriser temporairement les zones de départ potentielles et prévenir les plus grosses avalanches ;
- mise en place d'ouvrages de protection notamment digues paravalanches, d'interception, de freinage et de déviation, parfois mis en place spécifiquement sur des bâtiments ;
- mise en place de mesures organisationnelles de protection via l'alerte à la population, les coupures de circulation et l'évacuation de zones à risques ;
- mesures d'aménagement du territoire notamment avec les cartes de dangers d'avalanche mettant en évidence des zones de danger correspondant aux zones habitées.

### **3. Les accidents d'avalanche**

#### **A. Epidémiologie des accidents de montagne et d'avalanche**

##### a. Les accidents de montagne

L'épidémiologie des accidents d'avalanche peut être retrouvée via différentes sources : ANENA (35), SNOSM (8), MDEM (36) ou la SLF (37) en Suisse. Lorsque des personnes se trouvent sur le trajet d'une avalanche, les risques de morbidité et mortalité sont élevés.

Un tri des données est nécessaire car les décès en montagne ne sont pas exclusivement dus aux avalanches.

En 2020, MDEM a sorti un dossier de presse sur l'accidentologie des sports d'hiver (38) dont les points clés généraux sont les suivants :

- l'incidence du risque est de 2.35 blessés pour 1000 journées de ski en 2020 (incidence variant entre 2.2 et 2.8 entre 1992 et 2020) ;
- en 2020, il y a eu 110 791 blessés dans des accidents traumatiques avec quasiment 5% d'hospitalisation immédiate ;
- les principaux diagnostics sont des lésions du genou et de l'épaule (ski), du poignet (snowboard) ;
- une place importante est accordée aux traumatismes crâniens, principalement occasionnés lors de collisions.

La chute dans le vide (glissade ou dévissage) est à l'origine de deux tiers des interventions des secours, devant les événements pourtant très représentés dans l'imaginaire collectif tels que l'ensevelissement en avalanche, la chute en crevasse, la cassure de corniche, la chute de pierres, la chute de glace.

Entre 2012 et 2020, 153 548 personnes ont été secourues par les services de piste en domaine skiable, dont 1304 blessés contre obstacles. 189 ont été évacués par hélicoptère médicalisé. Dans le domaine de montagne, il y a eu 5961 interventions, dont 5225 par hélicoptère et 49 personnes qui ont été recherchées (8).

## b. Les accidents d'avalanche

Dans les statistiques, les avalanches sont souvent séparées des autres modes de décès, du fait des enjeux spécifiques sous-tendus. Entre 50 000 et 60 000 personnes se trouveront chaque année dans le champ d'intervention des secours en montagne (39). En moyenne, il y a entre 150 et 250 décès par an en montagne dont 20 à 40 se produisent lors d'accidents d'avalanche (Figure 23). Ces accidents se produisent majoritairement à l'hiver et au printemps (ski), mais peuvent également se produire à d'autres périodes, par exemple lors d'activités d'alpinisme.

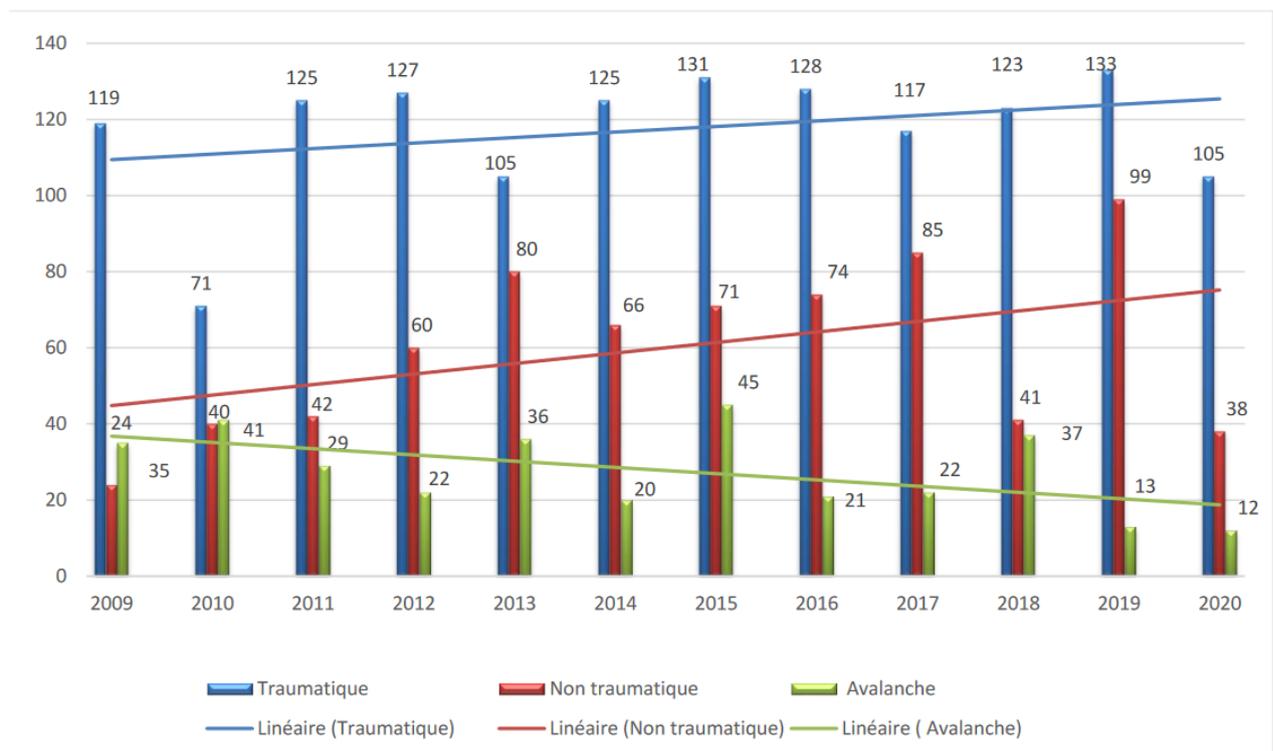


Figure 23. Décès traumatiques, non traumatiques, et en avalanche. Bilan des accidents des sports de montagne de 2009 à 2020 (8)

Les accidents d'avalanche sont sujets à des fortes variations interannuelles, essentiellement liés aux conditions nivo-météorologiques. La moyenne globale est de 21 accidents d'avalanches mortels, et 30 décès par an (40). Le nombre d'accidents a tendance à rester plutôt stable (Figure 24), malgré l'augmentation de la fréquentation humaine des espaces enneigés.

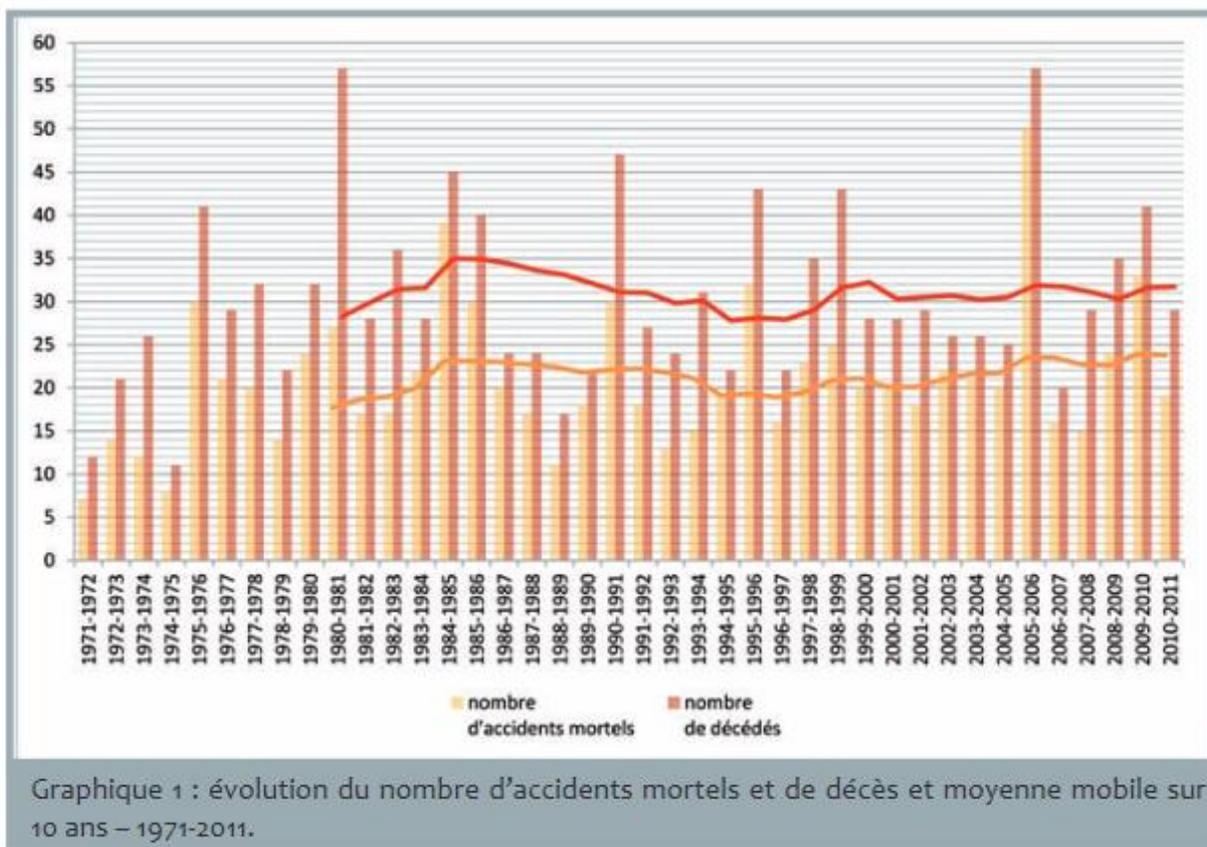


Figure 24. Evolution du nombre d'accidents mortels et de décès et moyenne mobile sur 10 ans, 1971-2011. 40 ans d'accidents d'avalanche (40)

La première ascension du plus haut sommet du monde, l'Everest, culminant à 8 848 m, a eu lieu en 1953 par Sir Edmund Hillary et Tenzing Norgay. Depuis 300 personnes ont péri dans l'Everest. L'avalanche la plus meurtrière de l'histoire de l'Everest a eu lieu le 25 avril 2015 à la suite d'un tremblement de terre et a été à l'origine de 18 décès et 60 blessés (Figure 25). Le 18 avril 2014, une avalanche entraînait 16 décès de sherpas népalais. Une autre expédition en 1996 a été à l'origine de la mort de 8 personnes, tragédie rapportée par le livre « Into thin air » de Jon Krakauer (journaliste et alpiniste). En Everest, comme sur d'autres massifs emblématiques, la multiplication des expéditions provoque des embouteillages et ralentissements, contribuant à la genèse de séquences accidentelles dramatiques. Certains arrêtés ont été pris pour restreindre l'accès au sommet du Mont-Blanc, comme en juillet 2018.

L'avalanche la plus meurtrière de l'histoire moderne s'est produite en Russie, le 20 septembre 2002, où l'effondrement d'un glacier sur le village de Nijni Karmadon en Ossétie du Nord, a fait 127 morts et disparus. En France, une avalanche le 9 février 1999 a fait 12 morts dans la vallée de Chamonix.



Figure 25. Camp de base du versant népalais du mont Everest suite au séisme et à l'avalanche du 25 avril 2015, Roberto Schmidt (41)

### c. Epidémiologie spatiale

La France demeure le pays occidental le plus touché par les accidents d'avalanche (Figure 26).

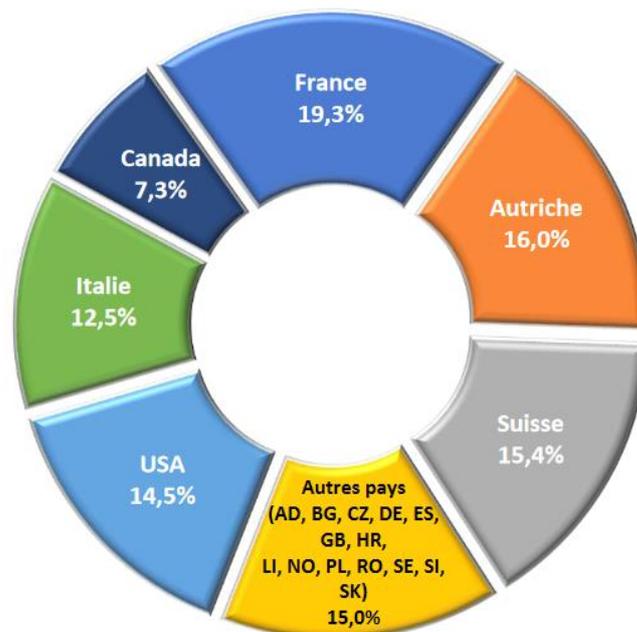


Figure 26. Distribution des décès par avalanche entre différents pays de la Commission internationale de sauvetage alpin, 1983-2015. (40)

#### d. Les victimes des accidents d'avalanche

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce ne sont pas les « touristes inexpérimentés » qui meurent majoritairement dans les accidents d'avalanche, mais souvent des « locaux habitués ». En Isère, les décès survenus lors de la pratique du ski de randonnée impliquent principalement des habitants de la région (Figure 27).

RÉGION	%	DÉPARTEMENT	%
RHÔNE ALPES	56,5%	SAVOIE	21,9%
PACA	17,7%	ISÈRE	18,3%
MIDI PYRÉNÉES	5,5%	HAUTES ALPES	12,2%
LANGUEDOC ROUSSILLON	4,3%	HAUTE SAVOIE	12,2%
RÉGION PARISIENNE	4,3%	RHÔNE	4,3%
AQUITAINE	3,7%	ALPES MARITIMES	3,7%
		HAUTE GARONNE	3,1%
		HÉRAULT	3,1%
		PYRÉNÉES ATLANTIQUES	3,1%
		PARIS	3,1%
		ALPES DE HAUTE PROVENCE	1,2%
		DOUBS	1,2%
		TARN ET GARONNE	1,2%
		HAUTS DE SEINE	1,2%

Source : base de données de l'ANENA sur les victimes d'ensevelissement en France

5. Pour mieux circonscrire l'origine géographique des décédés résidant sur le territoire français, les 18,8% de décédés en avalanche résidant à l'étranger ont été retranchés du décompte.

**Tableau 10** / Lieu de résidence principale des randonneurs à ski décédés suite à ensevelissement (restriction aux résidents en France<sup>5</sup>)

Figure 27. Lieu de résidence principale des randonneurs à ski décédés à la suite d'un ensevelissement. *Accidentologie des sports de montagne, Bastien Soulé (42)*

Les victimes sont principalement des hommes, 80% et plus (43), avec une hausse continue de l'âge moyen des personnes ensevelies, de 35 ans dans les années 80 à 40 ans dans les années 2000 (40). Les données ne permettent pas de savoir si ce vieillissement est la conséquence de l'avancée en âge de la population française, ou à une avancée en âge spécifique des participants de randonnées à ski.

[Document non diffusable en ligne]

Les victimes des accidents d'avalanche tombent parfois dans ce qu'on appelle les « pièges heuristiques », c'est-à-dire les biais humains qui vont influencer sur la prise de décision, notamment l'habitude, l'obstination, le désir de séduction, l'aura de l'expert, le positionnement social, la sensation de rareté (Figure 28).

Figure 28. Dessin de Alexis NOUAILHAT

Ian McCammon a calculé un score d'exposition à partir de sept indicateurs de danger d'avalanche aisément reconnaissables : présence d'un couloir d'avalanche évident, chute de neige > 15 cm et/ou accumulation de neige par le vent au cours des dernières 48h, terrain typiquement dangereux, indice de risque > 3 pour le massif, avalanches déclenchées à proximité au cours des dernières 48h, dégel important, signes évidents d'instabilité. 75% des accidents se sont produits alors qu'il y avait au moins trois indicateurs évidents de danger (Figure 29).

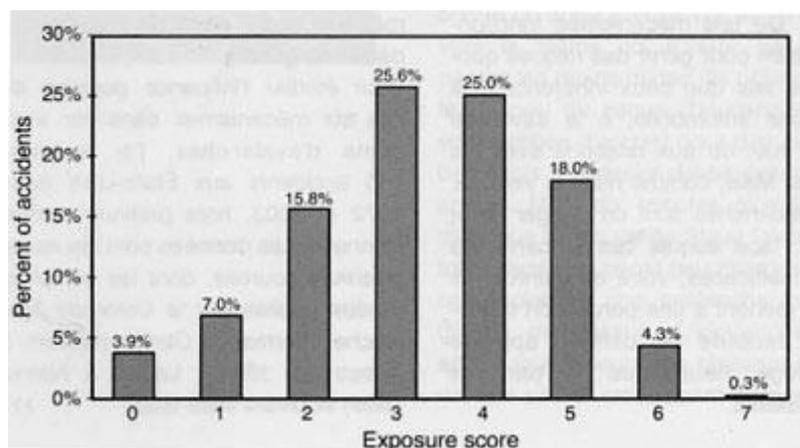


Figure 29. Fréquences des scores d'exposition au risque (N = 715). Ian McCammon (44)

Plus de 50% des accidents se produisent à un score supérieur ou égal à 3 et 25% dans des conditions de neige défavorables (45) (Figure 30).

**Table 1.** Overview of the data for the base rate of the weather, avalanche danger and snowpack conditions (e.g. the frequency a danger level was forecast), and the distribution of activity and accidents. Relative and absolute frequencies are shown.

Variable	Level	Base rate	Accidents	Activity
Day of the week	weekend-day	28.6 % 2	56.4 % 101	56.1 % 56101
	week-day	71.4 % 5	43.6 % 78	43.9 % 43899
Weather	fine	58.0 % 3069	77.1 % 138	80.8 % 80815
	fair	19.2 % 1017	10.6 % 19	9.4 % 9378
	poor	22.8 % 1206	12.3 % 22	9.8 % 9807
Avalanche danger level	1 - Low	17.4 % 15079	5.0 % 9	18.1 % 18072
	2 - Moderate	46.9 % 40534	42.4 % 76	55.7 % 55685
	3 - Considerable	34.6 % 30024	52.0 % 93	26.0 % 25982
	4 - High	1.1 % 933	0.6 % 1	0.26 % 261
Snowpack	A (favorable)	23.1 % 19235	15.7 % 28	24.6 % 24307
	B	25.6 % 21336	27.0 % 48	26.5 % 26242
	C	26.4 % 21946	26.4 % 47	26.5 % 26215
	D (unfavorable)	24.9 % 20710	30.9 % 55	22.4 % 22182

Figure 30. Analyse des différentes variables jours de la semaine, temps, danger d'avalanche et manteau de neige en fonction des conditions habituelles, des conditions lors des accidents, et des conditions lors des activités de neige. (45)

Le mémoire de Master 2 de Maud Vanpouille s'est intéressé à de nombreux corpus de témoignages pour dégager un arbre des causes de l'ensevelissement en ski de randonnée (Figure 31). Ce modèle illustre, comme de nombreux autres actuellement utilisés (Modèle de Reason, Modèle de Lecoze et Lim), que l'explication d'un accident ne peut être réduite à un facteur unique, mais bien qu'il faut l'appréhender comme le résultat d'une somme de circonstances qui finalement aboutissent à l'accident. L'approche systémique et le retour d'expérience (REX) sont à privilégier pour limiter le risque futur d'accidents.

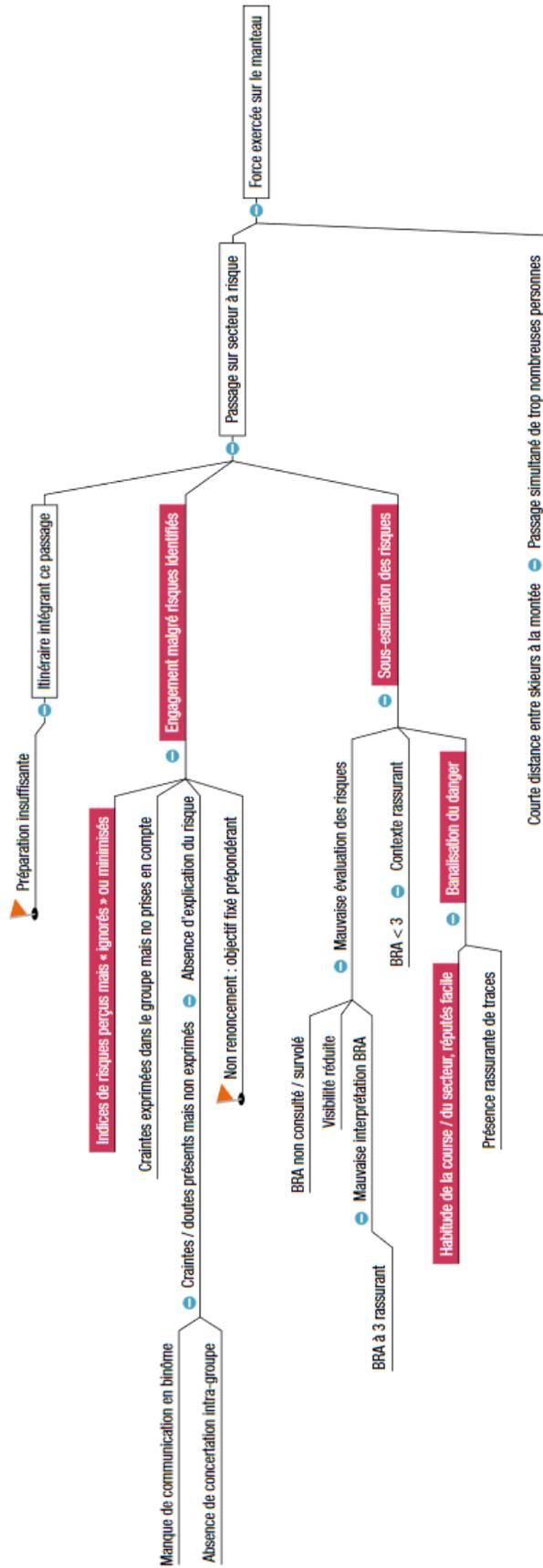


Figure 31. Arbre des causes de l'ensevelissement en ski de randonnée. (46)

## B. Gravité des accidents d'avalanche

### a. Les activités concernées

Les activités de randonnée et de hors-piste génèrent 83% des accidents mortels : randonnée 42% et hors-piste 41%. Au début des années 2000, le hors-piste a dépassé la randonnée dans le nombre d'accidents mortels, notamment par l'explosion du freeride. La tendance s'est à nouveau inversée à partir de 2006-2007, même si les proportions restent quasiment égales, au moins jusqu'en 2011 (Figure 32).

L'alpinisme est la troisième activité la plus concernée, soit 15% des décès par avalanche.

Les accidents mortels ont depuis trois décennies réalisé un glissement important du printemps vers l'hiver : plaques de neige sèche, complexité de la prise de décision.

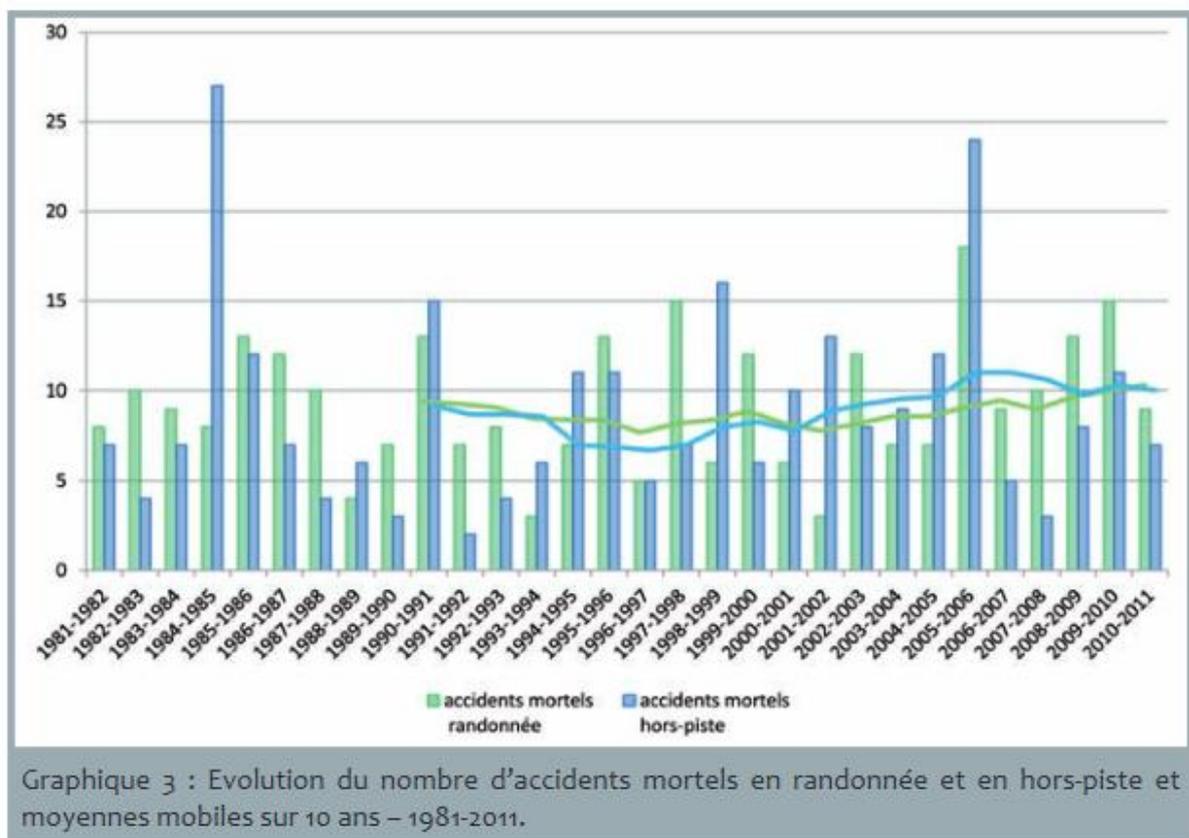


Figure 32. Evolution du nombre d'accidents mortels en randonnée et en hors-piste, moyennes mobiles sur 10 ans, 1981-2011. (40)

### b. Équipement et formation

Dans les accidents mortels, le ratio d'emportés a davantage baissé que le ratio de personnes décédées, éventuellement du fait de l'application de conseils de prudence comme « espacez-vous », « limitez la taille du groupe », « passez un par un ».

Dans les années 80, 40% des victimes ensevelies étaient équipées d'un DVA, contre 80% dans la décennie 2001-2011, même en hors-piste (10% => 44%). La plupart des randonneurs sont actuellement équipés de la trilogie « DVA-Sonde-Pelle » (Figure 33).

Toujours dans les années 80, 25% des victimes ensevelies étaient secourues par leurs compagnons contre 45% dans les années 2000, avec 2/3 de ces victimes repérées grâce aux DVA.



Figure 33. Détecteurs de victimes d'avalanches. (47)

Le système Recco est un complément au système DVA pour la localisation des victimes d'avalanche par les secours organisés : le détecteur est utilisé pour localiser les réflecteurs intégrés dans certains équipements des skieurs (signalé par une étiquette). Cet équipement systématique fonctionne en permanence (pas de batteries ni de mise en route) (Figure 34).



Figure 34. Système Recco. (48)

### C. Survie des victimes d'avalanche

L'ensevelissement est dit complet lorsque la tête de la victime se trouve sous la neige. La plupart des victimes d'avalanche sont complètement ensevelies. En moyenne, 58% des personnes complètement ensevelies survivent, principalement si elles le sont moins profondément (50 cm) et si elles sont trouvées plus rapidement (10 minutes) (26).

De manière générale, il est considéré plusieurs phases dans la survie (49) :

- phase de survie jusqu'à 18 minutes après l'ensevelissement : si elle n'a pas été mortellement blessée, une victime dégagée avant ce délai a pratiquement 100 % de chances de survivre, à condition qu'elle reçoive rapidement les premiers soins ;
- phase d'asphyxie entre 18 et 35 minutes d'ensevelissement : le pourcentage de chances de survie tombe de 91 % à 34 % ;
- phase de latence de 35 minutes jusqu'au moment du dégagement : il peut y avoir survie si la victime peut respirer grâce à l'existence d'une poche d'air suffisante ; la victime se trouve alors dans une relative sécurité. Les premiers décès par hypothermie surviennent le plus souvent après deux heures sous la neige. Les chances de survie diminuent très lentement et deviennent inférieures à 10 % au bout de deux heures.

Ces données s'appuient sur plusieurs études dont les données concordent à peu près (50,51) (Figure 35) : à 15 minutes la survie est de 92 %, elle n'est plus que de 30 % à 35 minutes, de 27 % à 90 minutes, et de 3 % à 120 minutes. La profondeur de l'ensevelissement (si ensevelissement complet) ne semble pas influencer la survie indépendamment du délai des secours.

Entre 35 et 90 minutes, la présence d'une poche d'air va être déterminante pour éviter l'asphyxie.

Ces données vont impliquer plusieurs choses :

- le fait qu'une victime soit secourue par ses camarades va favoriser grandement sa survie, car une arrivée des secours dans le premier quart d'heure est compliquée à mettre en place (Figure 36) ;
- une technique à appliquer par les skieurs pour aider à leur survie s'ils sont pris dans une avalanche est d'essayer de créer une poche d'air, au moins en mettant leurs mains autour de leur bouche lors de l'avalanche ;
- des équipements adaptés sont essentiels pour améliorer le délai de prise en charge, comme le trio « DVA / Sonde / Pelle ».

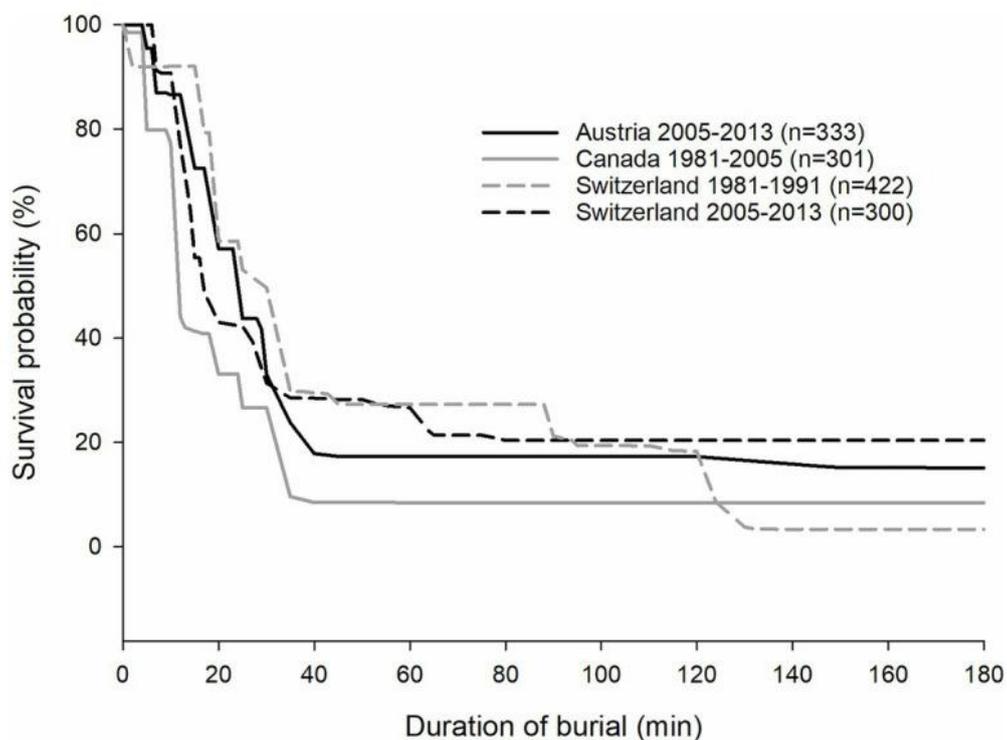


Figure 35. Courbes de survie en fonction de la durée d'ensevelissement (ensevelissement complet). Strapazon 2021 (tiré de Falk 1994, Haegeli 2011, Procter 2016) (19)

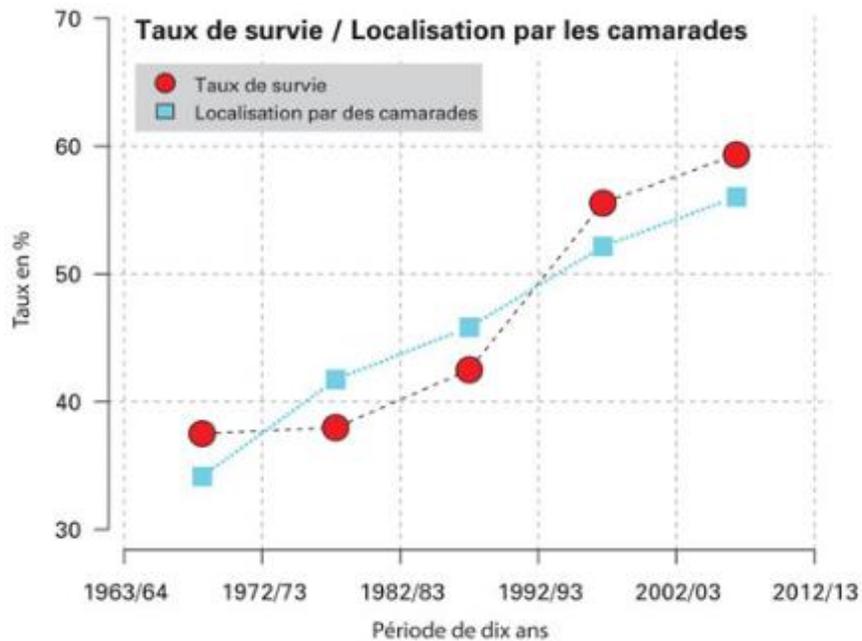


Figure 36. Graphique taux de survie et localisation par les camarades. (52)

## D. Organisation des secours

Sur l'ensemble des massifs français, 12% des interventions des gendarmes auprès de randonneurs à ski font suite à une avalanche.

### a. Petit point d'histoire

La première mention d'un secours organisé apparaît au 10<sup>ème</sup> siècle, où des religieux et leurs chiens Saint-Bernard secourent les voyageurs en difficulté entre l'Italie et la France en quittant leurs hospices.

Au 19<sup>ème</sup> siècle, des voyageurs s'aventurent toujours plus haut et toujours plus loin, les sauveteurs religieux ne suffisent plus, c'est alors la communauté des alpinistes qui réalisent des secours.

En 1820, la catastrophe Hamel, où trois guides meurent dans une avalanche lors de l'ascension du mont Blanc à la suite de l'entêtement de leur client, est à l'origine de la compagnie des guides du Mont Blanc créée par les Chamoniards. D'autres organisations sont progressivement créées : la société des Sauveteurs volontaires du Salève en 1897, le comité dauphinois du secours en montagne en 1910, les comités de secours en montagne en 1929.

Au début du vingtième siècle, les secours publics n'existent pas encore en montagne. C'est en 1956, à la suite d'un drame au Mont Blanc, l'affaire Vincendon et Henry (53), que les secours en montagne sont structurés par le pouvoir public, avec une loi Montagne en 1958 confiant au préfet la responsabilité des secours ; naît alors le GSHM, premier corps public spécialisé dans le secours de montagne. Auparavant, c'étaient les guides de Chamonix qui effectuaient ces missions, alertés par le maire, et aidés par les gendarmes et à partir de 1948 par les militaires (EMHM) et l'école de ski et d'alpinisme (ENSA). Depuis, le GSHM est devenu le PHSM, puis le PGHM en 1972, avec des personnels formés au CNISAG.

b. Particularités du secours en montagne

Les éléments définissant la montagne sont ceux qui sont à l'origine des particularités des secours en montagne :

- nécessité d'une grande connaissance du milieu de la montagne et du terrain par les sauveteurs ;
- nécessité d'une grande autonomie en raison de l'éloignement des structures de soins et des difficultés d'accès pour amener du personnel et du matériel ;
- utilisation de l'hélicoptère très fréquente, avec des difficultés à utiliser la voie terrestre habituelle (Figure 37).

Le matériel utilisé va également être spécifique : DVA, chiens d'avalanche, sonde.



Figure 37. Hélicoptère servant à évacuer les blessés (Everest, 2015), Roberto Schmidt (54)

c. De nombreuses implications parfois complexes

Il est important de distinguer les secours sur le domaine skiable confiés aux communes et aux pisteurs secouristes, et les secours en domaine de montagne confiés au préfet.

Il est difficile de faire participer l'ensemble des acteurs publics et privés à l'élaboration d'un outil pratique et opérationnel permettant à chacun de s'organiser, de préparer et de s'entraîner à la gestion de situation d'urgence : c'est l'objectif de la circulaire du 6 juin 2011 sur les secours en montagne mentionnant « zone de montagne entendue dans son acception courante » (55).

Les accidents en domaine skiable nécessitent chaque année 40 000 à 50 000 interventions.

Les accidents dans le domaine montagne concernent entre 6000 à 8000 personnes par an.

d. Le secours en domaine skiable

Pour les accidents sur les pistes du domaine skiable, il y a dans un tiers des cas une intervention des pisteurs secouristes. La majorité des patients est transportée en cabinet médical de piste, avec 95% des patients qui pourront effectuer un retour à domicile ou au logement de vacances sans hospitalisation (blessures non graves). Les blessés les plus sévères seront hospitalisés, après transport hélicoptéré si nécessaire (Figure 38).

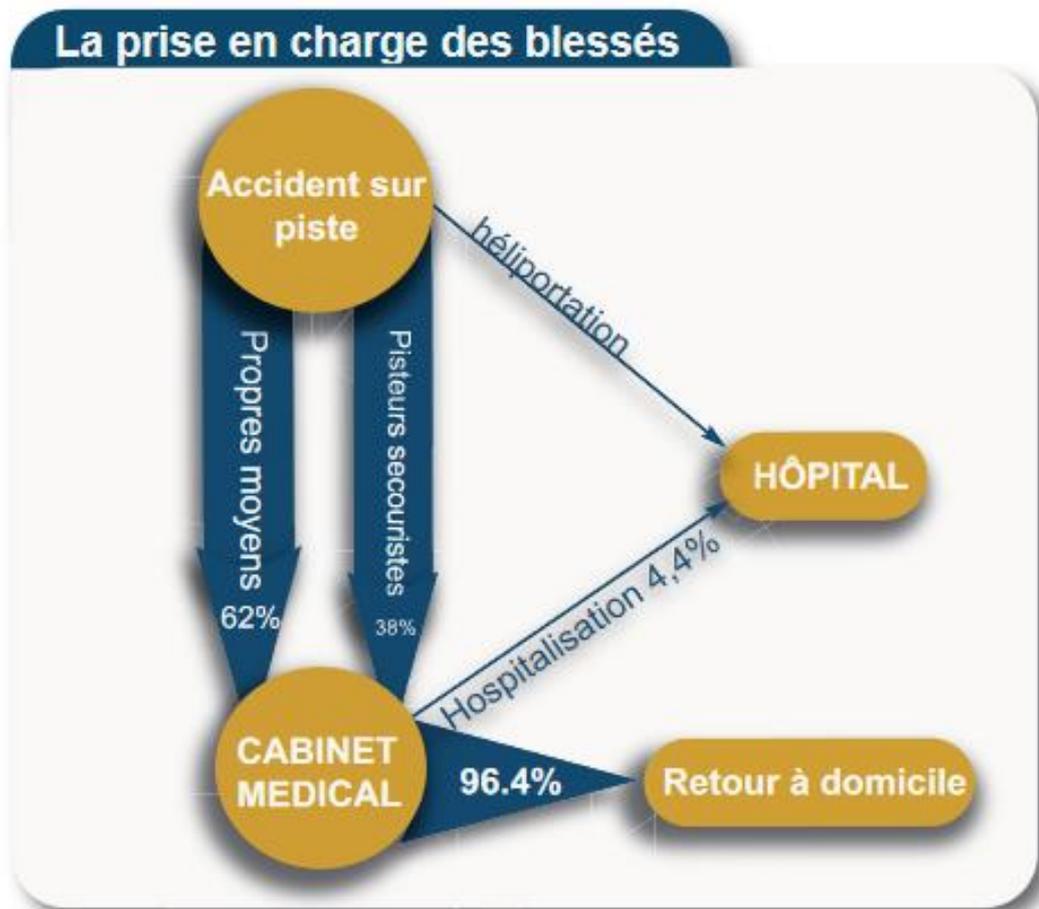


Figure 38. La prise en charge des blessés en domaine skiable. (38)

e. Le secours en domaine de montagne

Trois organismes publics sont les intervenants principaux du secours en montagne :

- les policiers avec les sections et les détachements de montagne des compagnies républicaines de sécurité (CRS) ;
- la gendarmerie avec les pelotons de gendarmerie de montagne et de haute montagne (PGM et PGHM) ;
- les sapeurs-pompiers des SDIS, avec les groupes montagne des sapeurs-pompiers (GMSP).

Dans les Alpes, sept hélicoptères (de la gendarmerie et de la sécurité civile), sont en alerte 24h sur 24h.

Le département de Haute-Savoie conserve dans son plan de secours les SSM, Sociétés de secours en montagne, au nombre de neuf, constitués de bénévoles formés et entraînés qui peuvent venir en renfort des organismes précédents.

Le dispositif ORSEC (Organisation de la sécurité civile) (56) est un dispositif de veille et d'alerte qui doit permettre de traiter les conséquences de tout type d'évènement, d'impliquer l'ensemble des acteurs publics et privés nécessaires, d'être un outil pratique et opérationnel permettant à chacun de s'organiser, de préparer et de s'entraîner à la gestion de situation d'urgence. Depuis février 2020, ce n'est plus le préfet qui déclenche le plan ORSEC (57) (Figure 39).

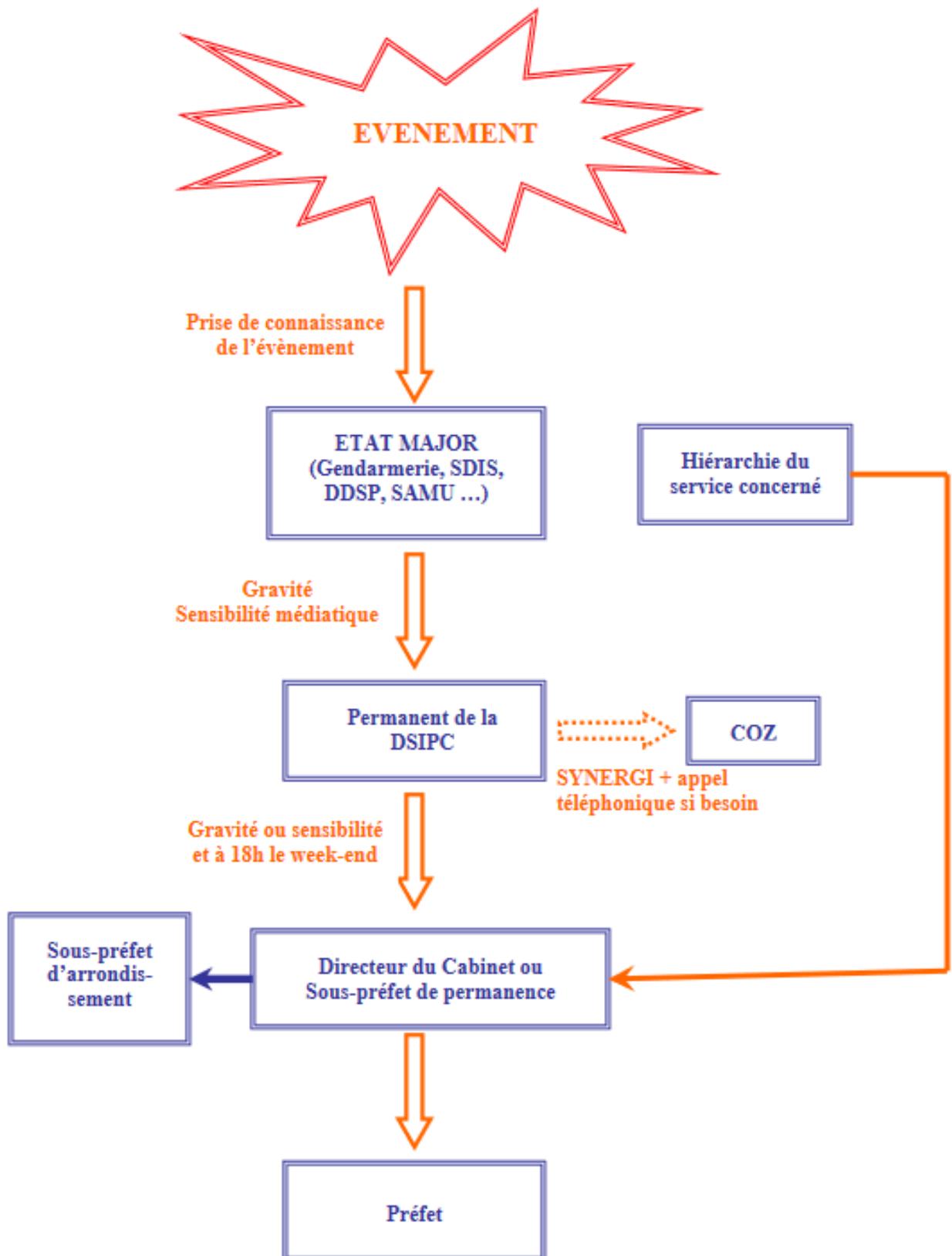


Figure 39. Organisation du schéma général ORSEC de la Savoie. (57)

C'est le centre opérationnel département (COD), un organisme non permanent, qui va diriger les opérations de secours (Figure 40).

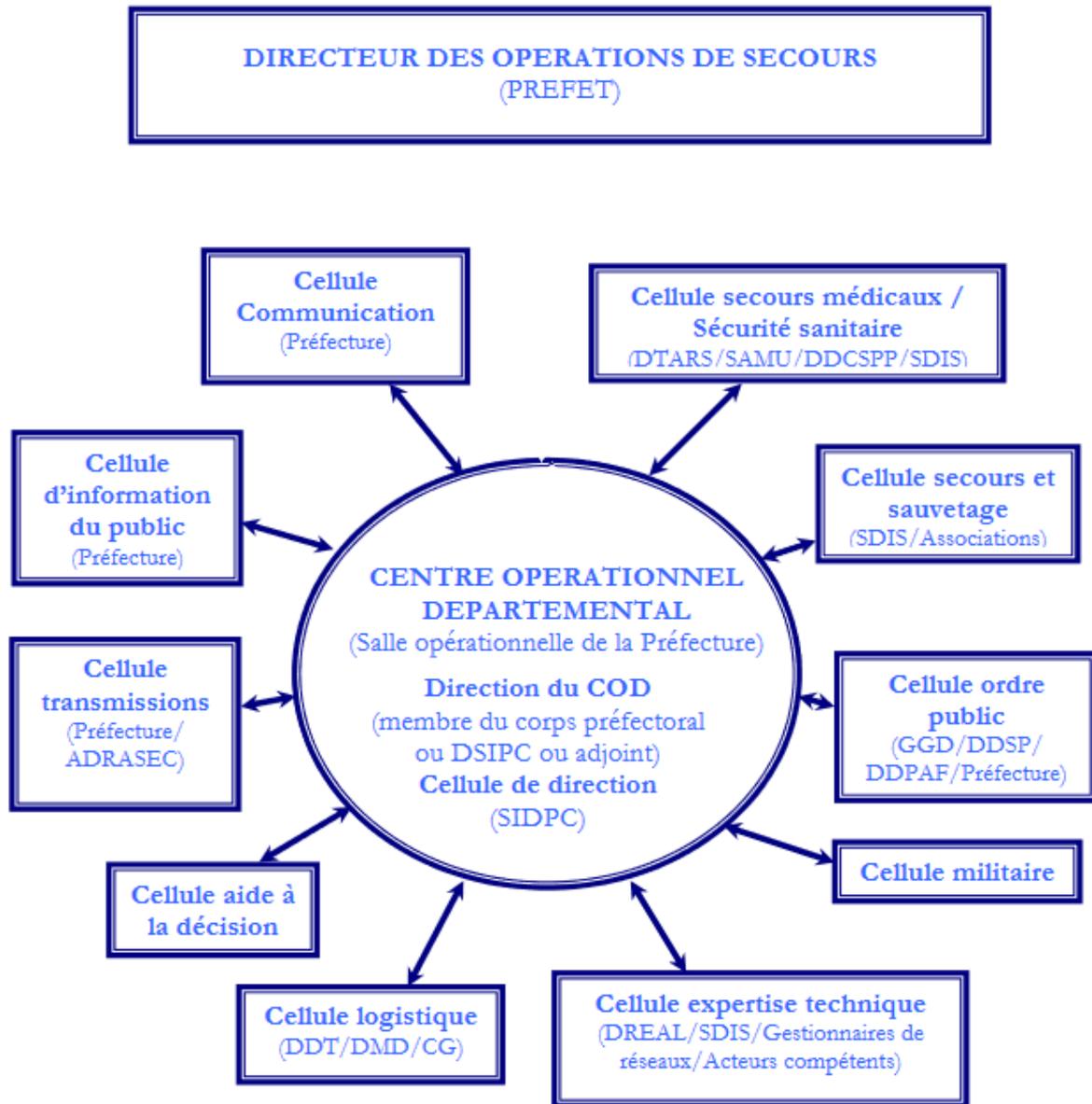
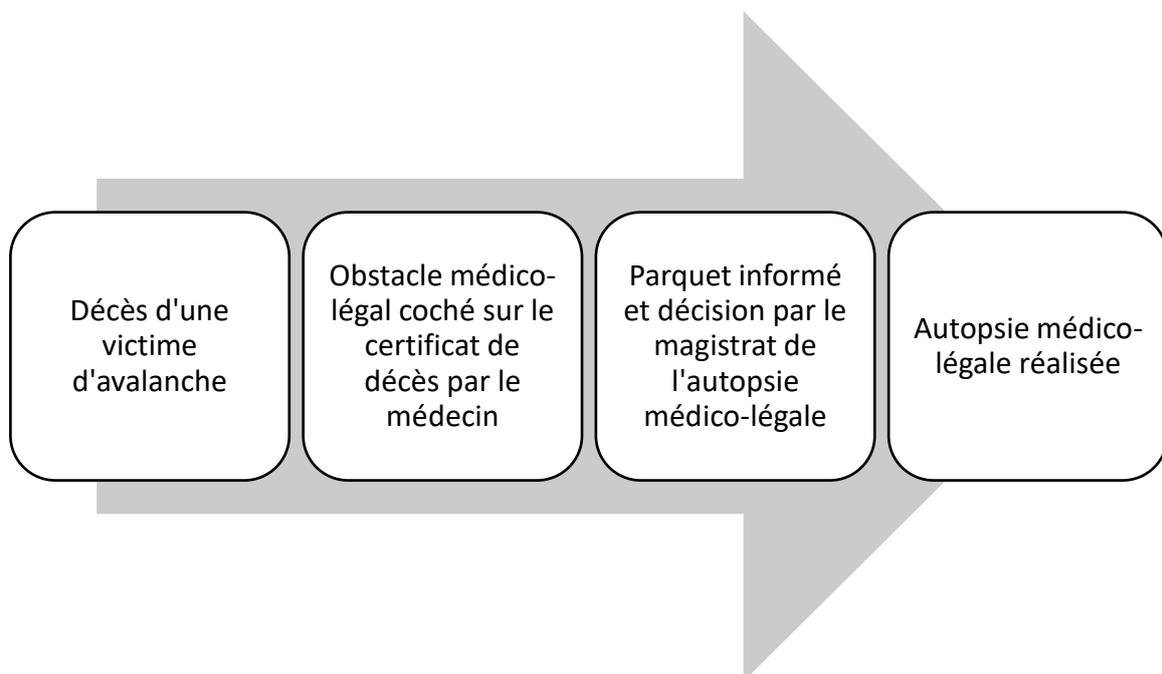


Figure 40. Schéma d'organisation du COD. (57)

f. Place des associations

Des associations sont également actives : ANENA, La Chamoniarde, Fondation Petzl (diffusion des informations et organisation de formations) et PrevRisk (réalisation d'actions).

### **E. Parcours de l'autopsie médico-légale**



*Figure 41. Parcours de l'autopsie médico-légale chez une victime d'avalanche*

Le parquet a la possibilité de s'auto-saisir (en l'absence d'obstacle médico-légal coché).

La réalisation d'une autopsie médico-légale n'est absolument pas systématique en cas d'obstacle médico-légal coché.

# II. Les modes de décès des victimes d'avalanche

<b>1. EPIDEMIOLOGIE DES MODES DE DECES CHEZ LES VICTIMES D'AVALANCHE</b>	<b>70</b>
<b>A. Les étiologies des décès</b>	<b>70</b>
a. Stalsberg et al, 1989	70
b. Hohlrieder et al, 2007	70
c. Boyd et al, 2009	71
d. McIntosh 2007 et 2019	71
e. Sheets et al, 2018	72
f. D'Alnoncourt et al, 2017	74
g. Limitation de ces études	74
<b>B. Les facteurs déterminants des décès</b>	<b>75</b>
a. L'ensevelissement	75
b. La présence d'une poche d'air	75
c. Les caractéristiques de la neige	78
d. La température du corps	79
e. Les dispositifs de secours	80
f. Les autres éléments déterminants	82
<b>2. LES TRAUMATISMES</b>	<b>83</b>
a. Physiopathologie	83
b. Epidémiologie	83
c. En autopsie	83
d. En imagerie	85
e. En histologie	86
<b>3. L'ASPHYXIE EN MEDECINE LEGALE</b>	<b>86</b>
a. Définitions	86
b. Classification des asphyxies	87
c. Physiopathologie de l'asphyxie	88
d. Sémiologie clinique de l'asphyxie	89
e. Signes classiques d'asphyxie autopsique	89
<b>4. L'ASPHYXIE CHEZ LES VICTIMES D'AVALANCHE</b>	<b>90</b>
<b>5. L'ŒDEME PULMONAIRE</b>	<b>91</b>
a. Pathophysiologie de l'œdème pulmonaire	91
b. L'œdème pulmonaire en médecine légale, et plus particulièrement chez les victimes d'avalanche	92
c. L'œdème pulmonaire dans le cadre du protocole	94

<b>6. L'HYPOTHERMIE</b>	<b>96</b>
a. Physiopathologie	96
b. Vitesse de chute de la température corporelle	97
c. Reports de cas	98
d. Les stades cliniques de l'hypothermie	99
e. La réanimation chez le patient hypotherme	101
f. Le diagnostic d'hypothermie en médecine légale	103
<b>7. OBJECTIF GENERAL DU PROJET DE RECHERCHE</b>	<b>106</b>

# 1. Epidémiologie des modes de décès chez les victimes d'avalanche

## A. Les étiologies des décès

Les principales étiologies des dommages subis par les victimes d'avalanche sont les traumatismes, l'asphyxie et l'hypothermie (58–64). Nous n'exposons pas ici une revue méthodologique et exhaustive de la littérature, mais une sélection des études d'intérêt les plus récentes, avec les plus grandes séries, ou étudiant des zones géographiques différentes pour en analyser les points les plus pertinents.

### a. Stalsberg et al, 1989

Une des premières études analysant les modes de décès chez les victimes par avalanche est une étude norvégienne qui a été publiée en 1989 par Stalsberg et al. (58). Elle rapporte les résultats d'autopsie de 12 victimes d'avalanche et dans la grande majorité des cas, le mécanisme du décès était la dépression respiratoire et circulatoire aiguë consécutive à une compression corporelle ; pour deux le décès venait d'un traumatisme mécanique et pour un d'une noyade. Stalsberg et al rapportent également des résultats d'études précédentes (Markwalder 1969 et Lapras 1980) conduisant aux chiffres de : 67.6% d'asphyxie, 13.2% de traumatismes, 3.7% d'hypothermie, 2.9% d'asphyxie combinée à un traumatisme, 1.5% de noyade, et 11% de causes inconnues.

### b. Hohlrieder et al, 2007

Hohlrieder et al (59), en Autriche, se sont intéressés aux traumatismes chez les victimes d'avalanche. Ils ont retrouvé 49 traumatismes graves chez 105 victimes d'avalanche, principalement aux extrémités, à la poitrine et à la colonne.

35% de ces victimes sont décédées, 30 ont été autopsiées. 2 seulement sont décédées de traumatisme (traumatisme rachidien), un décès provenait d'hypothermie (diagnostiquée par la présence de taches de Wischnewski) et tous les autres décès ont été attribués à l'asphyxie (91.7%).

Les causes de décès n'étaient pas l'objectif principal de cette étude.

c. Boyd et al, 2009

Boyd et al., ont conduit une étude sur les décès par avalanche au Canada entre 1984 et 2005, avec 204 accidents mortels et la réalisation de 117 autopsies (61). 75% des décès étaient dus à une asphyxie, 24% des décès étaient dus à un traumatisme (dont 42% de traumatismes crâniens) et 1% seulement à une hypothermie (Figure 42). Par ailleurs, ils signalaient que 13% des victimes d'asphyxie avaient un score de traumatisme > 15 (considéré comme sévère). Ils insistent sur le fait qu'il faut prendre en compte la globalité des éléments pour ne pas conclure à une cause unique de décès. Cette étude est intéressante car le nombre de victimes présentant un traumatisme mortel ou grave semble plus important que dans les études européennes, questionnant sur l'impact de l'environnement et/ou de facteurs humains.

**Table 1:** Cause of death as determined by autopsy or external examination for 204 avalanche fatalities in western Canada

Immediate cause of death	No. (%) of deaths				
	Autopsy		External examination*		All deaths*
Asphyxia	92	(79)	62	(71)	154 (75)
Trauma	25	(21)	23	(26)	48 (24)
Hypothermia	0	(0)	2	(2)	2 (1)
Total	117	(100)	87	(100)	204 (100)

\*No significant difference in the distribution of causes of death between autopsy and external examination (2-tailed Pearson  $\chi^2$  test,  $p = 0.17$ ).

Figure 42. Etiologies des décès des victimes d'avalanche (N=204). Boyd 2009 (61)

d. McIntosh 2007 et 2019

McIntosh et al ont analysé les causes de décès des victimes d'avalanche dans l'Utah, aux Etats-Unis, dans deux articles successifs, le premier correspondant à la période 1989-2006 (60) puis 2006-2018 (64).

Durant la première période, il était rapporté 56 accidents, dont la moitié faisant l'objet d'une autopsie. Les résultats sont les suivants : 85.7% de décès par asphyxie, 8.9% de décès par asphyxie combinée à un traumatisme, 5.4% de décès par traumatisme (principalement des traumatismes crâniens). Aucun cas de décès par hypothermie seule n'était rapporté.

Un état des lieux des recherches sur les causes de décès en avalanche de l'époque est rapporté dans cet article (Figure 43).

**Table 4.** Summary of research on cause of death in avalanche fatalities

	<i>Asphyxia</i>	<i>Asphyxia/Trauma</i>	<i>Trauma</i>	<i>Hypothermia</i>	<i>Other</i>	<i>Unknown</i>	<i>n</i>
Markwalder <sup>7</sup>	21	2	5	1	9	5	43
Lugger <sup>5</sup>	19	...	1	...	...	...	20
Eliakis <sup>4</sup>	21	...	1	2	...	...	24
Lapras <sup>6</sup>	16	...	11	2	1	11	41
Johnson <sup>11</sup>	22	...	6	...	...	...	28
Grossman <sup>10</sup>	2	3	3	...	...	1	9
Tough <sup>9</sup>	14	...	1	...	...	...	15
Tschirky <sup>13</sup>	42	...	39	6	...	4	91
Locher <sup>12</sup>	16	...	...	...	...	...	16
McIntosh	48	5	3	...	...	...	56
							343

Figure 43. Résumé des recherches sur les causes de décès par avalanche en 2007. McIntosh 2007 (60)

Durant la seconde période, il y a eu 32 victimes décédées par avalanche dont 57% ont été autopsiées, parmi lesquelles 72% sont mortes par asphyxie, 19% par traumatisme et 9% par une combinaison des deux. Les traumatismes crâniens comptaient pour 21% des traumatismes. Aucune différence significative n'était retrouvée après comparaison avec leur étude précédente ( $p=0.067$ ).

e. Sheets et al, 2018

Une autre étude américaine menée par Sheets et al a analysé les causes de décès des victimes d'avalanche entre 1994 et 2015 dans le Colorado (63), premier état américain pour les accidents d'avalanche, devant l'Utah qui est quatrième (Figure 44).

US Avalanche Fatalities by State  
1950-51 to 2019-20



**CAIC**  
Colorado Avalanche  
Information Center

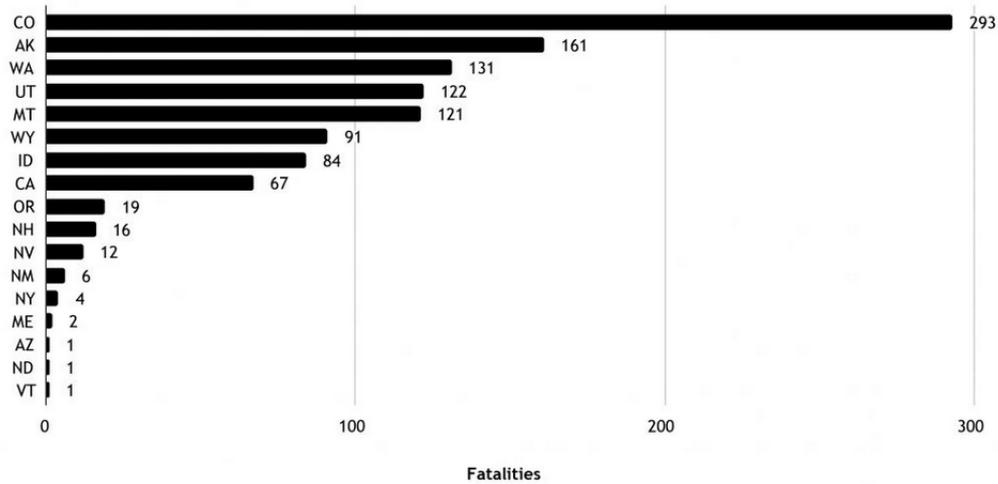


Figure 44. Etats américains et accidents d'avalanche. (65)

Sur 110 personnes décédées, 64 ont été autopsiées. 65% des décès provenaient d'asphyxie, 29% de traumatismes (polytraumatisme dans 38% des cas, traumatisme crânien dans 31% des cas et traumatisme rachidien dans 19% des cas). 10% des victimes décédées par asphyxie avaient un score de traumatisme supérieur à 15. Six décès provenaient d'autres causes : 4 d'hypothermie, 1 de noyade, et 1 d'arrêt cardiaque initial (Figure 45).

**Table 1. Primary cause of avalanche fatalities**

<i>Cause of death</i>	<i>n (Total = 110)</i>	<i>Percent (%)</i>
Asphyxia	72	65
Trauma	32	29
Hypothermia	4	4
Drowning	1	1
Primary cardiac	1	1

Figure 45. Etiologies des décès des victimes d'avalanche (N=110). Sheets 2018 (63)

Il s'agit de l'étude avec un des plus grands pourcentages de décès par traumatisme, bien supérieur aux études européennes et à l'étude menée dans l'Utah, et un peu supérieur à l'étude canadienne. Sheets et al n'ont pourtant pas retrouvé de différence significative en lien avec le terrain et l'environnement dans lequel les décès se sont produits.

f. D'Alnoncourt et al, 2017

Enfin, nous rapportons une étude française, menée à l'IML de Grenoble par le Dr D'Alnoncourt (62). Il s'agissait de la première étude française (et la seule à notre connaissance) sur ce sujet. Celle-ci s'est intéressée uniquement aux victimes d'avalanches autopsiées durant la période 2010-2017, soit 25 autopsies. C'est une des seules études avec des données issues des examens complémentaires réalisés : 7 victimes ont eu un scanner post-mortem et 24 ont eu une analyse anatomopathologique. Les causes de décès étaient à 72% l'asphyxie, à 4% le traumatisme, et à 24% une association des deux. Aucun décès n'était attribué à l'hypothermie seule.

195 décès avaient été rapportés par l'ANENA pour la période correspondant à celle de l'étude (saisons entières) soit 12.8% seulement des victimes autopsiées, bien moins qu'en Amérique du Nord. Il n'est fait aucune mention des victimes non autopsiées, pour lesquelles aucun examen médico-légal n'a été demandé.

g. Limitation de ces études

Ces études, menées de manière rétrospective, conduisent aux biais inhérents à cette méthodologie.

Elles appréhendent les causes de décès de manière très globale et ne détaillent généralement pas ou peu le mécanisme impliqué, particulièrement dans les cas d'asphyxie où de multiples mécanismes peuvent être impliqués.

La plupart apportent des informations parcellaires sur la façon dont le diagnostic final a été posé et les éléments qui y ont conduit. Dans la plupart des cas, seule une partie des victimes a été autopsiée, les autres ont fait l'objet d'un examen externe uniquement (voire d'aucun examen médico-légal en France). Les examens complémentaires étaient également peu fréquents.

Pour autant, pouvoir déterminer la réalité et l'étiologie de l'arrêt cardiaque est un des facteurs essentiels de la réalisation, ou pas, d'une réanimation (66).

## **B. Les facteurs déterminants des décès**

Une revue de la littérature de 2010 s'est intéressée spécifiquement à trois paramètres (67) : la présence d'une poche d'air, l'hypothermie, et le taux de potassium sanguin. Une prise en charge rapide par les secours, la présence d'une poche d'air après trente-cinq minutes ou une température corporelle inférieure à 32 C° sont des facteurs déterminants de la survie.

### **a. L'ensevelissement**

Nous avons déjà vu précédemment, dans le paragraphe I-3-C, que le facteur déterminant est la durée d'ensevelissement / d'extraction : « golden 15 minutes » et « time is life ».

Concernant l'ensevelissement, il peut être complet, la tête et le tronc ensevelis, ou incomplet. La plupart des études de survie portent uniquement sur les victimes complètement ensevelies, car plus graves : risque d'asphyxie, difficulté à être retrouvées par les secours. La mortalité globale est de 50% en cas d'ensevelissement complet contre 5% en cas d'ensevelissement incomplet (68).

La profondeur d'ensevelissement, indépendamment du fait qu'elle va influencer sur la durée d'extraction, a un effet discuté sur la survie (51). Il semblerait logique qu'avec une certaine masse de neige comprimant le thorax les mouvements respiratoires soient plus difficiles à effectuer. Les données de la littérature rapportent peu d'information sur les victimes avec une récupération complète au-delà de 3 m d'ensevelissement (69).

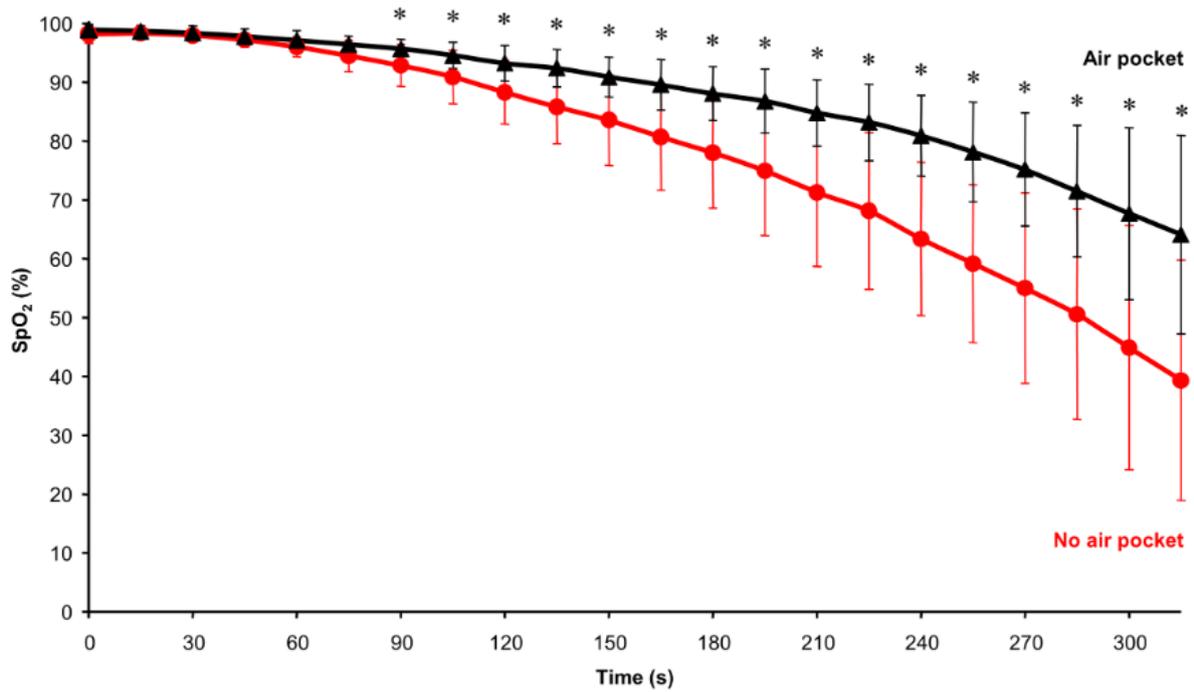
### **b. La présence d'une poche d'air**

Une poche d'air est la présence d'un espace libre autour du nez et de la bouche, avec la possibilité d'un passage d'air dans les voies aériennes et la possibilité pendant au moins un certain temps de poursuivre les échanges respiratoires. Les personnes prises dans une avalanche doivent essayer autant que faire se peut de créer une poche d'air devant leur visage. Cependant, parfois, la formation de glace à l'interface air/neige du fait de l'humidité de l'air exhalé va empêcher la diffusion du CO<sub>2</sub> et être à l'origine d'un risque majoré d'intoxication.

Deux études randomisées ont étudié la présence d'une poche d'air, dans des conditions artificiellement créées (70,71). Une étude préalable de 2000 réalisée sur 8 volontaires (72) montrait que le temps moyen d'ensevelissement était significativement augmenté en présence d'un dispositif simulant une poche d'air (58 minutes contre 10 minutes,  $p=0.001$ ).

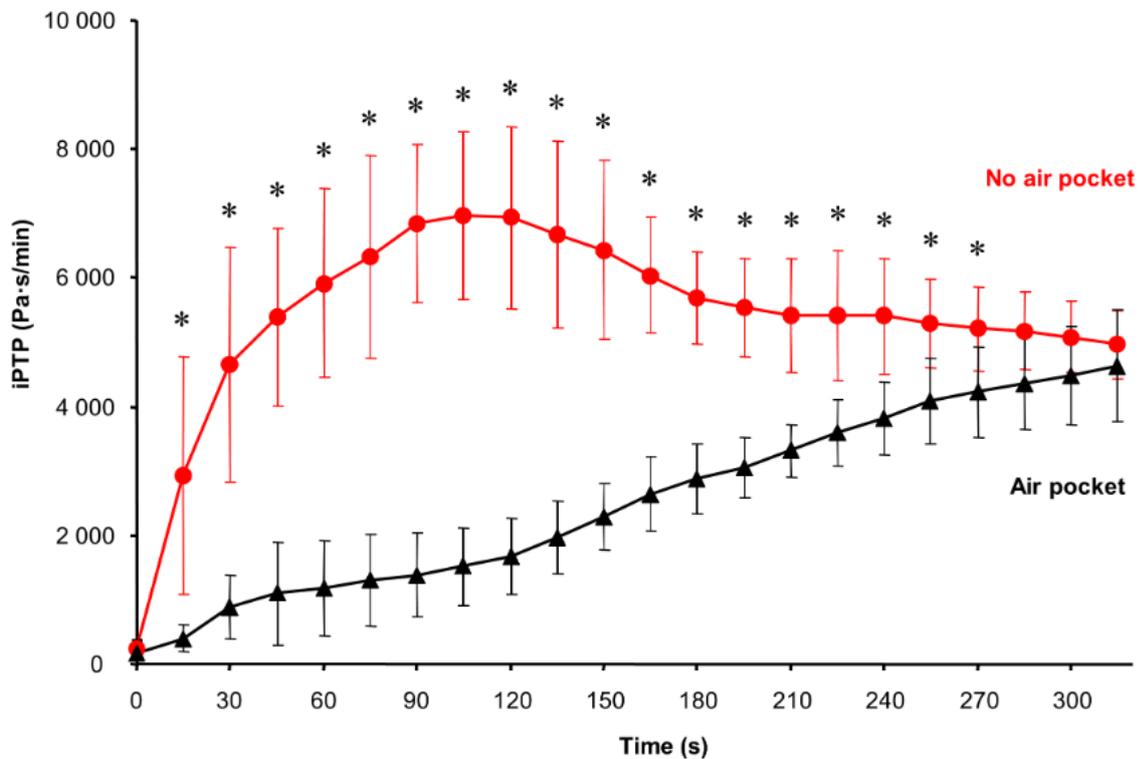
La première de ces études date de 2002 (70). Elle étudie chez 12 volontaires l'effet d'une poche d'air d'1L et de 2L. La poche d'air de 2L entraînait moins de diminution de la saturation sanguine en oxygène que la poche de 1L. Une des conditions déterminantes retrouvée était la densité de la neige. 61% des tests ont été interrompus prématurément à cause d'une chute de la saturation en dessous de 75% et 21% pour des raisons subjectives (vertiges, épuisement et panique).

La deuxième étude date de 2015 (71). Elle étudie chez 12 volontaires l'effet d'une poche d'air d'1L, ou de l'absence de poche d'air. Elle conclut qu'il est possible de respirer en l'absence de poche d'air mais l'effort demandé, et l'augmentation du métabolisme induit, sont à l'origine d'une plus grande consommation d'oxygène et de production de CO<sub>2</sub>. Une poche d'air d'1L a significativement modifié les concentrations en oxygène et dioxyde de carbone de l'air exhalé (EtO<sub>2</sub> et EtCO<sub>2</sub>) et la saturation en oxygène (SpO<sub>2</sub>) (Figure 46), contrairement à la FiCO<sub>2</sub> qui est restée stable et à la FiO<sub>2</sub> qui a changé tardivement. L'utilisation d'une poche d'air d'1L a également modifié le travail respiratoire (iPTP) en le diminuant de manière importante par rapport à l'absence de poche d'air (Figure 47).



**Fig 4. The difference between SpO<sub>2</sub> during NP and AP phases.** The symbol \* represents statistically significant differences at  $p \leq 0.05$ .

Figure 46. Evolution de la saturation en oxygène en présence et en absence d'une poche d'air. Roubik 2015 (71)



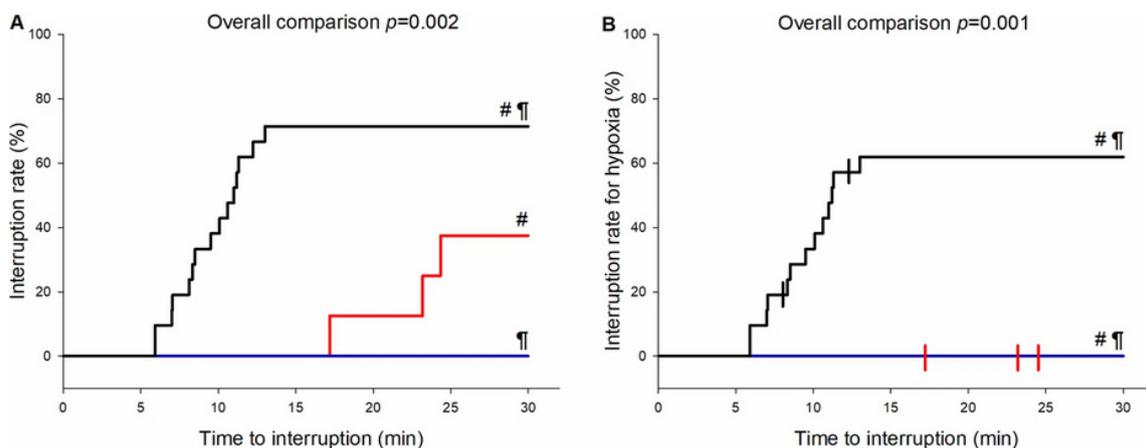
**Fig 7. The difference in breathing effort expressed as imposed Pressure-Time Product (iPTP) caused by the flow resistance of snow between no air pocket and one liter air pocket.** The symbol \* represents the statistical significant differences described by  $p \leq 0.05$ .

Figure 47. Travail respiratoire en présence et en absence d'une poche d'air. Roubik 2015 (71)

### c. Les caractéristiques de la neige

La neige est un milieu poreux contenant une grande quantité d'air. L'asphyxie va apparaître d'autant plus rapidement que la neige a une densité importante car l'accès à cet air interstitiel va être beaucoup plus limité. De plus, en augmentant la taille de cet espace, le risque d'asphyxie par augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'air inspiré va être limité en favorisant sa diffusion.

Une étude de 2017 (73) a analysé différents paramètres respiratoires chez 14 sujets soumis à une série de tests respiratoires dans des poches d'air artificielles de 4L avec des densités de neige différentes. Un déclin rapide de l'O<sub>2</sub> et une augmentation du CO<sub>2</sub> étaient associés avec les densités de neige les plus importantes. Aucun sujet respirant dans une neige de basse ou moyenne densité n'a eu son test interrompu à cause de l'hypoxie (SpO<sub>2</sub> < 75%) dans les trente minutes, contrairement à 60% des sujets dans la neige de plus haute densité (Figure 48).



Test duration curves per snow density groups. **(A)** The curve considers all interruptions. **(B)** The curve shows only interruptions due to hypoxia (SpO<sub>2</sub> < 75%). Red line represents snow density group ≤ 250 kg/m<sup>3</sup>, blue line snow density group between 251–350 kg/m<sup>3</sup> and black line snow density group > 350 kg/m<sup>3</sup>; vertical markers in the right chart represent interruptions not due to hypoxia. #Indicates a significant difference between snow density groups ≤ 250 and > 350 kg/m<sup>3</sup> and ¶ indicates a significant difference between snow density groups 251–350 and > 350 kg/m<sup>3</sup> (n = 36 for **A** & **B**). Note that in the right chart blue and red line are overlapping.

Figure 48. Interruption de l'étude (toutes les interruptions à gauche et les interruptions pour hypoxie à droite). Strapazzon 2017 (73)

Cet effet protecteur sur la saturation en oxygène périphérique se retrouve également sur l'oxygénation cérébrale (74).

La respiration dans une neige de plus basse densité peut alors permettre de survivre assez longtemps pour attendre le stade où l'hypothermie protégera le système nerveux de l'asphyxie.

Ces données représentent une des explications possibles aux courbes différentielles de survie constatées entre les climats maritime et continental (75) (Figure 49).

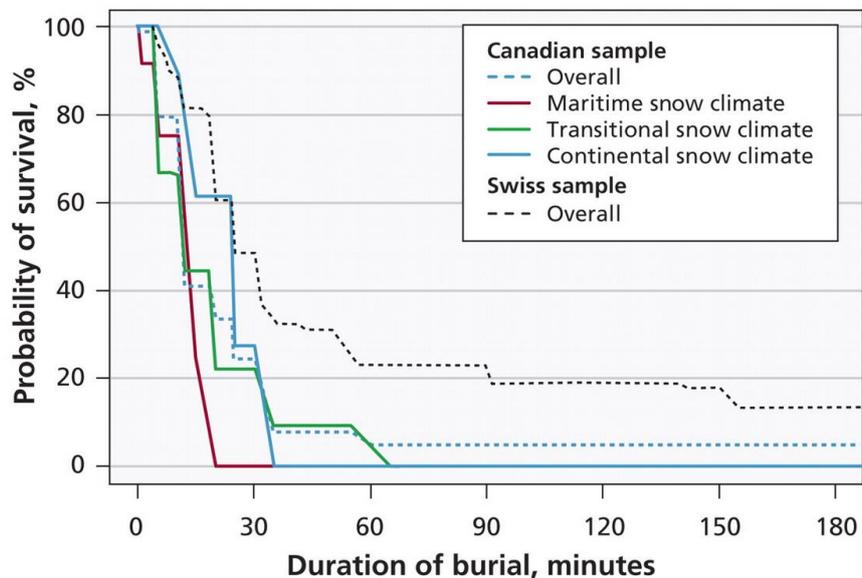


Figure 49. Courbes de survie en fonction des climats. Haegeli 2011 (75)

#### d. La température du corps

Une température corporelle à moins de 32 °C semble être un facteur favorable à la survie (sous réserve d'une possibilité respiratoire) (67) (Figure 50).

**Table 4**

Summary of levels of evidence, quality of studies and outcome measures<sup>a</sup> that are supportive or neutral to the hypothesis that victims in cardiac arrest with a core temperature of less than 32 °C may survive if they have a patent airway.

Level of evidence	LOE P1	LOE P2	LOE P3	LOE P4	LOE P5
<i>Studies supportive of prognostic factor</i>					
Good			Danzl et al. <sup>29</sup> ABC Locher and Walpoth <sup>24</sup> AC <sup>b</sup>	Walpoth et al. <sup>30</sup> CD <sup>b</sup>	
Fair				Althaus et al. <sup>31</sup> CD Oberhammer et al. <sup>8</sup> CD	
<i>Studies neutral to prognostic factor</i>					
Good			Brugger et al. <sup>13</sup> BC <sup>c</sup> Brugger and Falk <sup>18</sup> BC <sup>c</sup> Locher et al. <sup>9</sup> AC <sup>b</sup> Mair et al. <sup>7</sup> AD		Grissom et al. <sup>32</sup> E
Fair			Farstad et al. <sup>33</sup> CD Ruttman et al. <sup>14</sup> ACD Stalsberg et al. <sup>27</sup> BCD	Kornberger and Mair <sup>19</sup> BC	Grissom et al. <sup>34</sup> E

<sup>a</sup> Outcome measures: A – return of spontaneous circulation; B – survival of event; C – survival to hospital discharge; D – intact neurological survival; E – other end point.

<sup>b</sup> Overlapping patients.

<sup>c</sup> Overlapping patients.

Figure 50. Revue de la littérature des études concernant la température corporelle. Boyd 2010 (67)

#### e. Les dispositifs de secours



Figure 51. Dessin Alexis NOUAILHA

Pour la plupart des dispositifs que nous allons évoquer, il existe plusieurs marques, et parfois des comparatifs industriels. Nous allons utiliser principalement des termes génériques.

L'indispensable triade « DVA/sonde/pelle » a déjà été évoquée, elle permet un sauvetage plus rapide par les compagnons des victimes prises dans une avalanche.

L'utilisation d'un DVA est utile pour retrouver rapidement la victime notamment chez les novices (76). Dans une étude de Brugger de 2007 (77), la durée d'extraction en présence d'un DVA (avalanche transceiver) était significativement diminuée (25 minutes contre 125 minutes,  $p < 0.001$ ), de même que la mortalité (55.2% contre 70.6%,  $p < 0.001$  avec un OR de 0.26 correspondant à une réduction relative de la mortalité de 74% [IC 52 ;86%]).

Peu d'informations existent sur le système Recco (78,79). Elles le présentent majoritairement comme une alternative, notamment chez les victimes mal équipées.

Les « airbags d'avalanche » ont connu un essor ces dernières années. Ceux-ci reposent sur le principe de la ségrégation inverse, ou effet « noix du Brésil » : les particules les plus grosses sont dirigées vers la surface. L'objectif de ces airbags est d'éviter l'ensevelissement ou à défaut d'en limiter la gravité. Toujours dans l'étude de Brugger de 2007 (77), le taux de mortalité chez les victimes équipées d'un air bag était significativement diminué (2.9% contre 18.9%,  $p = 0.026$  avec un OR de 0.09 correspondant à une réduction relative de la mortalité de 91% mais avec un intervalle de confiance plus large que le précédent [IC 25 ;99%]). Des résultats moins impressionnants, mais tout de même significatifs, ont été observés dans une autre étude, notamment sur les avalanches les plus mortelles (80) : diminution absolue de la mortalité de 11% [IC -4 ; -18%]. Dans cette étude, le non-gonflement de l'airbag par mauvaise utilisation de l'utilisateur est un des principaux facteurs d'échec, ce qui encourage à poursuivre et continuer d'améliorer la formation des pratiquants de la montagne à l'utilisation de ces dispositifs.

D'autres techniques existent, avec malheureusement un manque de données dans la littérature scientifique. Ces dispositifs, parfois connus depuis plus de deux décennies, apparaissent moins fréquemment dans les études ; par exemple, aucun des 1821 patients de l'étude de Brugger précédemment citée n'avait d'Avalung ou d'Avalanche Ball. Pourtant, dans une étude de 2015 menée dans les montagnes Wasatch et Teton d'Utah et du Wyoming, l'Avalung était même plus populaire que l'airbag d'avalanche (47 pour l'Avalung contre 10 pour l'airbag d'avalanche sur les 193 participants) (81). Cela peut s'expliquer par des pratiques différentes, l'Avalung étant originaire de l'Utah.

L'Avalung est un système facilitant la respiration sous la neige, chez une personne ensevelie sans poche d'air. Il est équipé d'un système de valves permettant d'inspirer l'air d'un côté, et d'expulser l'air expiré chargé en CO<sub>2</sub> loin de la zone d'inspiration (Figure 52). En conditions expérimentales, la présence d'un dispositif d'aide à la respiration augmente la durée de respiration avec une oxygénation correcte par rapport à une poche d'air de 0.5L (58 minutes de durée d'ensevelissement contre 10,  $p < 0.001$  et 90% de SpO<sub>2</sub> contre 84%,  $p = 0.02$ ) (72) avec également un effet important rapporté sur les signes d'anxiété.

L'avalanche ball est un système de localisation de surface, qui n'a pas pour vocation de prévenir ou limiter la gravité de l'ensevelissement, mais de rendre plus rapide la localisation de la personne (Figure 52).



[Source : <https://www.mec.ca/en/product/4016-207/AvaLung-2>]

[Source : <https://www.outdoor-sports.cz/novinky/lavinove-vybaveni/>]

Figure 52. Avalung 2 (à gauche) et avalanche ball (à droite)

#### f. Les autres éléments déterminants

Les étiologies des décès vont également dépendre de la chronologie :

- les décès immédiats sont fréquemment traumatiques ;
- les décès dans les deux premières heures sont principalement d'origine asphyxique ;
- il y a peu de décès par hypothermie dans les deux premières heures.

L'environnement va jouer un rôle également : barres rocheuses, arbres, blocs de glace sont responsables de traumatismes, parfois fatals.

## 2. Les traumatismes

### a. Physiopathologie

La physiopathologie de la genèse des traumatismes durant les accidents d'avalanche apparaît comme relativement logique lorsqu'on étudie le déroulement d'une avalanche. Ils se produisent principalement lors des chocs traumatiques contre des éléments naturels ou lors du transport par l'importante masse de neige.

### b. Epidémiologie

Les traumatismes sont extrêmement fréquents chez les victimes d'avalanche, qu'elles survivent ou pas, avec beaucoup de fractures d'os longs (59). Du fait des cinétiques et forces importantes dégagées par les avalanches, la classification automatique des personnes victimes comme traumatisme de grade C (indépendamment des symptômes) a été discutée (RMM RENU 2021).

Les traumatismes sont à l'origine de 15 à 25% des décès lors des accidents d'avalanche. Parmi ceux-là, l'étiologie la plus fréquente est discutée dans les études, notamment entre traumatismes crâniens, rachidiens, et thoraciques.

Des traumatismes sont également parfois constatés chez les victimes décédées d'autres causes (entre 10 et 15%) (61,63), qu'ils participent ou non au décès, par exemple par l'augmentation induite du métabolisme.

### c. En autopsie

L'autopsie va permettre de repérer la plupart des traumatismes, notamment s'ils sont fatals.

De nombreux traumatismes peuvent déjà être connus à l'examen externe, notamment les fractures évidentes dès l'inspection : fractures ouvertes, déformation corporelle (inspection du thorax à « lumière rasante »). La palpation et la mobilisation des différents segments corporels permettent de localiser certaines fractures qui n'étaient pas directement visibles à l'œil nu : mobilité anormale, craquements.

L'examen interne permet d'analyser de manière plus fine les traumatismes déjà constatés à l'examen externe : devant une mobilité anormale à la palpation thoracique, on pourra lors de l'examen interne relever précisément les fractures costales et leurs conséquences organiques. La plupart des traumatismes d'organes pleins et creux seront facilement visibles lors de l'autopsie : « fractures » hépatiques, rénales, contusions pulmonaires, rupture vasculaire, et leurs conséquences notamment hémorragiques. Les traumatismes crâniens pourront être analysés avec l'examen des traits de fracture, et des différentes hémorragies, particulièrement intracrâniennes avec la distinction entre hématomes extra-duraux, sous-duraux et hémorragie sous-arachnoïdienne. Les traumatismes rachidiens seront plus délicats à observer, notamment s'ils sont mineurs, du fait de l'accessibilité difficile à certaines structures des vertèbres (épineuses, structures transverses). Devant la constatation d'une fracture rachidienne, il sera important de vérifier l'intégrité de la moelle sous-jacente (rupture ou compression par un hématome).

L'autopsie permet d'établir un diagnostic précis des traumatismes, menant parfois à la modification de la cause du décès établie par les premiers intervenants. Pour exemple, une étude de 2020 a suivi pendant 3 ans les patients d'un centre de traumatologie allemand, parmi lesquels 35% (25 personnes) ont été autopsiés (82). Parmi ces 25 patients, l'autopsie a conduit à des diagnostics différents dans 30% des cas, dont un cas pour lequel les conséquences cliniques auraient été majeures (Figure 53). Ceci permet également de rappeler l'importance de l'autopsie par l'analyse des causes du décès et les conséquences de cette analyse dans la pratique clinique future pour permettre d'éviter les décès « évitables » (83–85) et d'évaluer la participation de l'état antérieur dans la survenue du décès.

**Table 6** Discrepancies of clinical and forensic death causes and diagnosis: six marginal and one evident discrepancies on the clinician and four marginal discrepancies on the coroner side

No	Survival time [hh:min] or [days]	MSCT in hospital	Autopsy death cause	Discrepancy Fault clinician	Discrepancy Fault coroner
2	01:08	no	Polytrauma sTBI combined with hemorrhagic shock	Marginal missed vascular injury, heart rupture and liver injury	
3	02:30	yes	Polytrauma hemorrhagic shock, fat embolism	Marginal misinterpretation of abdominal soft tissue trauma to hernia	Marginal missed lumbar fracture and proc. transverse fractures
5	01:50	no	Exsanguination	Evident missed multiple mesenteric laceration with 1000 ml hemoperitoneum, pneumothorax right and intrapulmonary chest drain left	Marginal wrong place of death in autopsy record
16	2 days	yes	sTBI	Marginal missed rib fractures	Marginal colitis (CT report) not mention in autopsy
17	07:06	yes	sTBI	Marginal missed spleen contusion, rib fractures and Proc. spine fractures	
21	3 days	yes	sTBI	Marginal missed pelvic rim and rib fractures	
23	13 days	yes	Myocardial infarction	Marginal not natural death cause	Marginal missed thoracic spine fracture

MSCT multislice computed tomography

Figure 53. *Discordances clinique-autopsie. Schmidt 2020 (82)*

#### d. En imagerie

La place de l'imagerie est un sujet actuellement très prégnant en médecine légale, avec la même dynamique que dans les autres spécialités.

La plupart des études réalisées rapportent que le scanner présente un intérêt pour certaines lésions par rapport à l'autopsie, notamment les lésions osseuses, dont rachidiennes, et pour la présence d'air/épanchement, mais reste moins sensible que l'autopsie pour d'autres, comme les lésions tissulaires et organiques, les lésions vasculaires même de gros vaisseaux (86,87).

Une combinaison de l'imagerie avec l'autopsie est la solution la plus performante pour déterminer l'ensemble des traumatismes.

Chez les victimes d'avalanche, les principaux résultats retrouvés à l'imagerie étaient les traumatismes musculosquelettiques (60%) dont 1/3 de fractures (notamment rachis et extrémités), et les traumatismes extra-squelettiques (40%), principalement des traumatismes thoraciques et abdominaux (88).

Concernant l'œdème pulmonaire et l'asphyxie, l'imagerie est d'une moindre utilité car l'estimation de l'intensité et la répartition de l'œdème pulmonaire sont limitées en post-mortem du fait des stases vasculaires.

e. En histologie

Une analyse histologique des poumons (et particulièrement de la structure des septa alvéolaires) de 23 personnes décédées de traumatismes a été réalisée en 1981 (89). Cette étude retrouvait principalement des dommages de l'épithélium alvéolaire et capillaire, et un œdème pulmonaire. Il est difficile de s'appuyer sur cette étude dans notre cas car dix victimes étaient initialement survivantes au choc et passaient plusieurs jours en réanimation.

L'histologie permet dans les cas de traumatismes de déterminer le caractère vital ou non d'une plaie (présence d'hémorragie si péri-mortem) et d'apporter des éléments concernant sa temporalité par rapport au décès (présence de fibrine et de cellules).

### **3. L'asphyxie en médecine légale**

La partie suivante s'appuie principalement sur des données issues de deux ouvrages de référence en médecine légale :

- Le traité de médecine légale, par Jean Pol BEAUTHIER aux éditions De Boeck Supérieur, 2<sup>ème</sup> édition ;
- Forensic Pathology, par Pekka Saukko et Bernard Knight, aux éditions Arnold, 3<sup>ème</sup> édition.

a. Définitions

Pour appréhender l'asphyxie en médecine légale, il faut d'abord définir les différents termes qu'on peut retrouver, parfois tous généralisés improprement sous le terme asphyxie :

- asphyxie : étymologiquement, l'asphyxie correspond à l'absence de pouls ; de manière générale on parle d'asphyxie pour évoquer l'apport insuffisant d'oxygène au niveau tissulaire, quel qu'en soit le mécanisme ;
- hypoxie / anoxie : diminution ou suppression de l'apport d'oxygène tissulaire ;
- suffocation : asphyxie mécanique par obstruction ou manque d'oxygène dans l'environnement ; le manque d'oxygène dans l'air ambiant peut se voir par carence, par exemple en altitude, confinement par remplacement progressif de l'O<sub>2</sub> par du CO<sub>2</sub>, ou modification de la composition dans l'air ambiant par remplacement de l'O<sub>2</sub> par un autre gaz ;
- strangulation : asphyxie mécanique par constriction active cervicale ;

- pendaison : asphyxie mécanique par constriction passive cervicale ;
- noyade : asphyxie par remplacement de la phase gazeuse par une phase liquide ;
- enfouissement : asphyxie par remplacement de la phase gazeuse par une phase solide.

Il existe également des termes spécifiques en langue anglaise :

- *smothering*: étouffement externe ;
- *choking*: étouffement interne, comprenant notamment le *café coronary* (fausse route) ;
- *gagging*: bâillonnement ;
- *throttling*: strangulation avec les mains ;
- *garotting*: strangulation au lien avec torsion d'une tige pour resserrer la corde ;
- *mugging*: pression cervicale par un bras tordu arrivant de l'arrière ;
- *wedging/overlaying* en pédiatrie, pour l'asphyxie par la literie.

Chez le sujet vivant, l'oxygénation du sang peut être évaluée de manière indirecte et non invasive, par la saturation en oxygène du sang capillaire (typiquement par la mesure d'un capteur au bout du doigt), ou de manière invasive mais plus fiable par une prise de sang artérielle et la réalisation d'une oxymétrie sanguine. Ces méthodes ne sont pas utilisables en post-mortem du fait des phénomènes de production de gaz ou d'altération de leur distribution à l'intérieur du corps.

#### b. Classification des asphyxies

De nombreuses classifications ont été proposées, répertoriées dans un mémoire de 2010 par Elie Boghossian qui proposait ensuite une classification unifiée (90) (Figure 54).

Les principales différences observées portent sur les définitions de la suffocation, terme peu spécifique, des étouffements externe et interne, avec une variation dans la définition du niveau d'obstruction, et de la position de la noyade dans les classifications.

Figure 2 - La classification proposée unifiée des asphyxies en contexte médico-légal

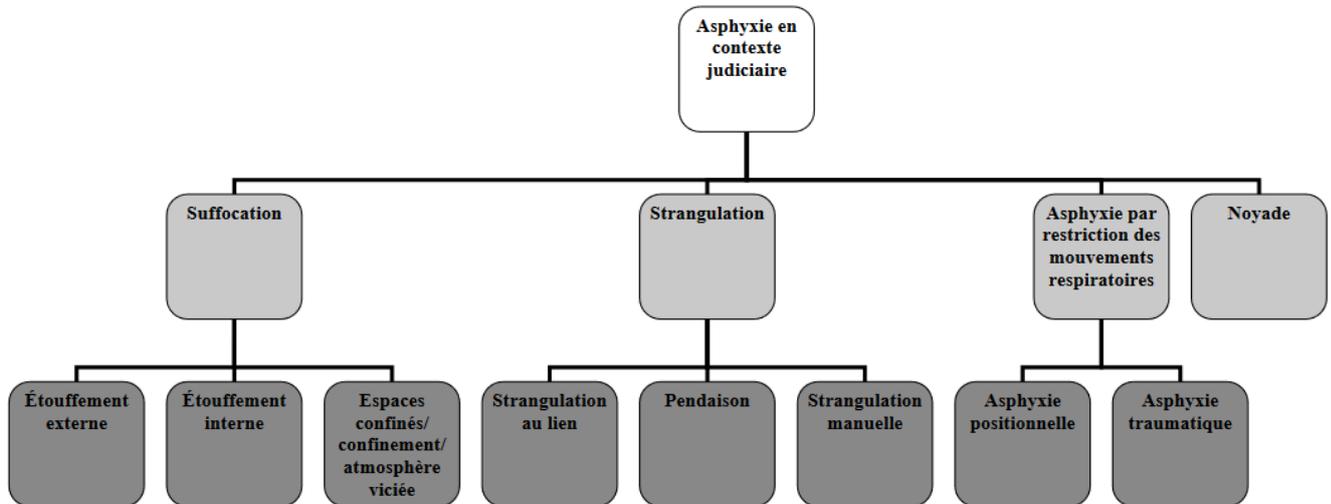


Figure 54. Classification unifiée des asphyxies en médecine légale. Boghossian 2010 (90)

### c. Physiopathologie de l'asphyxie

La respiration est un mécanisme cellulaire mitochondrial correspondant au fonctionnement aérobie de la cellule, alors que la ventilation est le résultat de la fonction mécanique des voies aériennes.

Les échanges gazeux pulmonaires vont permettre de prendre l'oxygène de l'air inspiré et d'éliminer le dioxyde de carbone avec l'air expiré. Cela va se faire par des échanges gazeux au travers de la barrière alvéolo-capillaire grâce à la ventilation, processus d'inspiration et d'expiration, par la diffusion, transfert passif des gaz à travers la membrane alvéolo-capillaire et la perfusion, circulation sanguine pulmonaire. L'air expiré est riche en dioxyde de carbone et saturé en eau.

A la suite de ces échanges gazeux pulmonaires, le sang hématosé (l'hématose est la transformation du sang pauvre en dioxygène et riche en dioxyde de carbone en sang réoxygéné au niveau pulmonaire) va aller des poumons à l'oreillette gauche puis être expulsé par le ventricule gauche pour aller libérer de l'O<sub>2</sub> aux différents tissus, et récupérer du CO<sub>2</sub> (diffusion cellulaire via le liquide interstitiel). L'oxygène circule dans le sang sous forme dissoute, et sous forme combinée à l'hémoglobine. Une hémoglobine n'ayant pas fixé d'O<sub>2</sub> est une hémoglobine dite réduite qui a une couleur violette.

La ventilation nécessite la possibilité de fonctionnement correct des muscles respiratoires, notamment du diaphragme. Pour avoir une respiration normale il faut : un air respirable (air = mélange gazeux de 78% de diazote, de 21% d'oxygène et 1% d'autres gaz), des voies aériennes libres, des appareils respiratoire, circulatoire, et cellulaire intègres.

Tout élément entravant ces processus entraîne une asphyxie : obstruction des voies aériennes supérieures, compression cervicale, atteinte de la paroi thoracique, atteinte des muscles respiratoires, pathologie de la barrière alvéolo-capillaire, insuffisance d'oxygène ou présence d'un gaz inerte ou compétitif dans l'air inspiré, altération de la commande respiratoire neurologique.

#### d. Sémiologie clinique de l'asphyxie

La durée de l'asphyxie conduisant au décès va fortement varier en fonction de son étiologie : de quelques secondes à plusieurs heures voire jours (anémie).

De manière générale, on va décrire l'évolution clinique de l'asphyxie en plusieurs étapes : d'abord présence de vertiges, acouphènes, angoisse, agitation et rapidement une perte de connaissance, ensuite des convulsions, des émissions d'urine, de matières fécales, des éjaculations, l'installation d'une cyanose, aboutissant à un arrêt respiratoire et finalement cardiaque. Dans le cas d'une compression des vaisseaux cervicaux, cette perte de conscience se fera en 20 à 30 secondes et l'arrêt cardiaque en 1 à 2 minutes.

L'hypoxie va entraîner des adaptations de l'organisme, notamment l'augmentation de la ventilation, de la fréquence cardiaque et du débit sanguin.

L'hypercapnie (qui n'est pas présente systématiquement dans les asphyxies) va entraîner des modifications vasculaires, une acidose et des troubles du rythme.

#### e. Signes classiques d'asphyxie autopsique

Aucun signe n'est pathognomonique de l'asphyxie.

A l'autopsie, les signes suivants sont considérés comme des marqueurs d'asphyxie :

- cyanose : coloration bleutée de la peau notamment aux extrémités, mettant en évidence un taux sanguin d'hémoglobine réduite (>5 g / 100 ml de sang) ; cela va également se traduire par une coloration foncée des lividités ;

- pétéchie : hémorragies punctiformes millimétriques notamment faciales, conjonctivales, sur les séreuses (taches de Tardieu) dans le cadre d'une rupture des veinules périphériques par suite d'une augmentation de la pression intravasculaire. Ces signes sont davantage un marqueur du mécanisme de l'asphyxie que de l'asphyxie elle-même ;
- congestion viscérale : dilatation vasculaire dans un contexte d'hypoxie tissulaire ;
- fluidité sanguine par fibrinolyse, ce signe est probablement le plus discuté parmi ceux évoqués.

Ces différents signes ne sont pas spécifiques des décès par asphyxie, ils peuvent également s'observer dans d'autres circonstances et ils vont devoir être interprétés avec prudence et en tenant compte de l'ensemble des éléments circonstanciels et cliniques à la disposition du médecin légiste.

## **4. L'asphyxie chez les victimes d'avalanche**

Concernant les victimes d'avalanche, de nombreux mécanismes d'asphyxie peuvent être évoqués :

- obstruction des voies aériennes supérieures par la neige ;
- création de glace lors de la ventilation d'un air humide empêchant le passage d'air dans les voies aériennes ;
- défaut d'oxygène dans l'air inspiré :
  - o neige extrêmement dense limitant les échanges respiratoires possibles,
  - o auto-intoxication par accumulation de gaz carbonique expiré par la victime au sein d'une poche d'air ;
- compression extrinsèque thoracique par la masse de neige empêchant la réalisation des mouvements respiratoires (la masse volumique de la neige fraîche est en moyenne de 100 kg/m<sup>3</sup>) ;
- asphyxie positionnelle selon la position de la victime dans la neige ;
- inhalation de neige à l'origine d'un mécanisme de noyade dite « sèche » c'est-à-dire par spasme laryngé dû à la stimulation de la 9<sup>ème</sup> paire de nerf crânien (nerf glosso-pharyngien) à l'origine d'une asystolie ;
- inhalation de neige à l'origine d'une noyade (probablement en fonction de la densité de la neige) ;

- inhalation de contenu gastrique (mécanisme similaire au syndrome de Mendelson) ;
- mécanisme de type Tako-Tsubo (cardiomyopathie de stress) ;
- hypertension artérielle pulmonaire et œdème pulmonaire par insuffisance cardiaque aiguë.

Certains de ces mécanismes sont discutés dans la littérature, et ils sont rarement analysés au-delà du terme « asphyxie » dans les articles sur les causes de décès des victimes d'avalanche.

## 5. L'œdème pulmonaire

### a. Pathophysiologie de l'œdème pulmonaire

L'œdème pulmonaire se définit comme l'accumulation pathologique de liquide dans les espaces et les tissus extravasculaires pulmonaires (91).

En conditions physiologiques, il existe un passage de liquide de la lumière capillaire vers l'interstitium, drainé par le système lymphatique. L'œdème résulte le plus souvent d'un déséquilibre entre les différents déplacements de liquide.

Deux grandes catégories d'œdème pulmonaire sont :

- l'œdème pulmonaire hémodynamique par augmentation de la pression hydrostatique capillaire  $> 20$  mm Hg à la suite d'une insuffisance cardiaque ou d'une surcharge volémique (saturation du système lymphatique) ;
- l'œdème pulmonaire lésionnel par augmentation de la perméabilité endothéliale.

Ces deux mécanismes d'œdème vont bénéficier de traitements différents puisqu'il s'agit dans le premier cas d'abaisser la pression hydrostatique, par exemple en augmentant la vasodilatation pulmonaire, ce qui apparaît inefficace dans les cas d'œdème lésionnel.

De manière générale, tous les éléments pouvant influencer sur des paramètres de l'équation de Starling peuvent entraîner un œdème. Les deux cas précédemment cités sont les plus fréquents : augmentation de  $K$  ou augmentation de  $P$  cap (Figure 55).

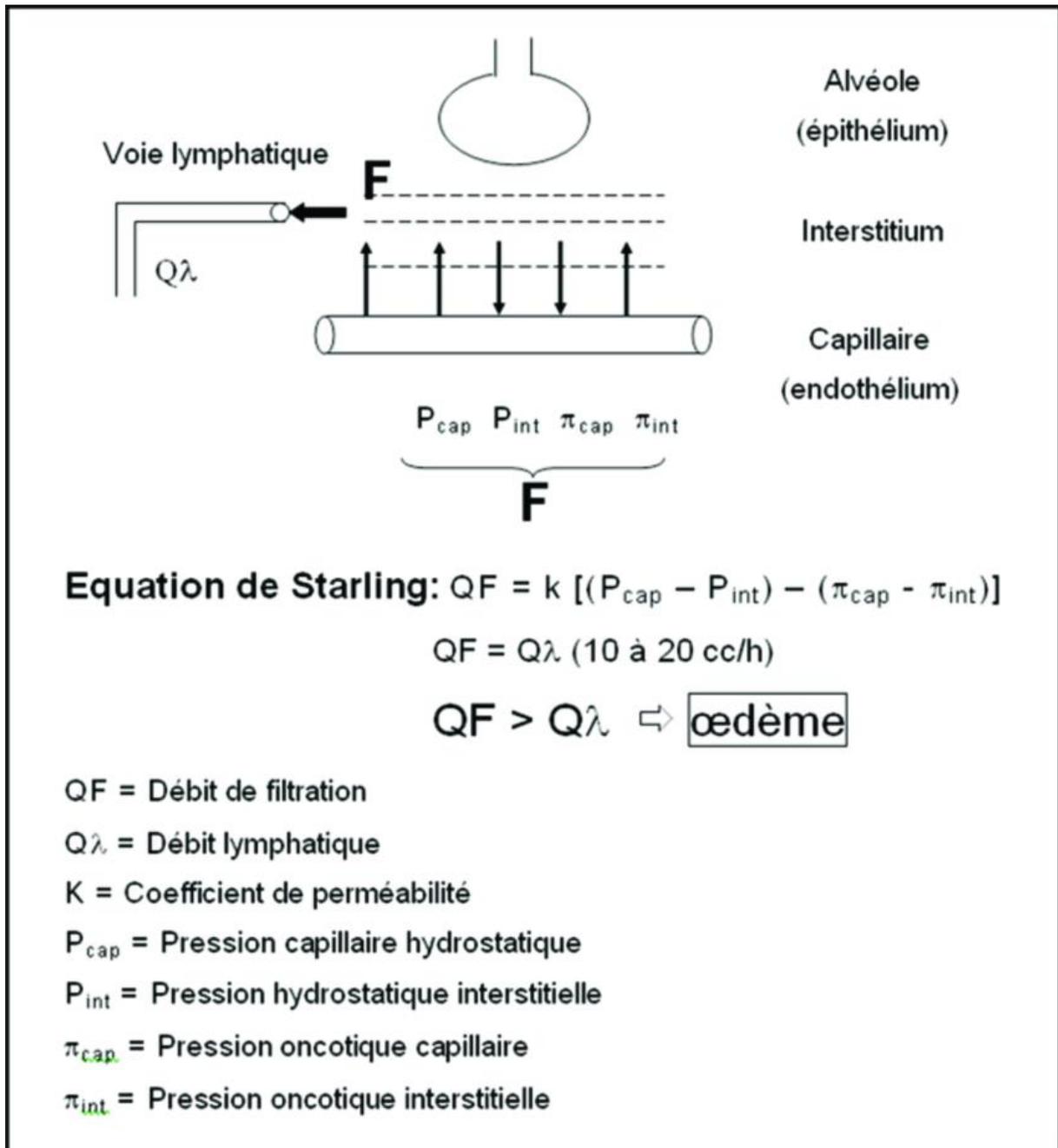


Figure 55. Schématisation de la physiopathologie de l'œdème pulmonaire cardiogénique par l'équation de Frank-Starling. (92)

b. L'œdème pulmonaire en médecine légale, et plus particulièrement chez les victimes d'avalanche

Une des premières études étudiant les mécanismes de décès chez les victimes d'avalanche évoquait déjà l'œdème et la congestion pulmonaire importants retrouvés chez les victimes d'avalanche (58) (Figure 56). Dans tous les cas, l'examen microscopique des poumons montrait une congestion aiguë, un œdème alvéolaire et des hémorragies alvéolaires localisées.

**Table 2.** Histologic evidence of acute congestion in avalanche victims compared to consecutive forensic autopsies excluding deaths from cardiac disease and cases with major haemorrhage

Organ	Microscopic congestion	Avalanche victims	Consecutive forensic autopsies	<i>P</i> *
Lung	None	0	3	<0.002
	Moderate	1	12	
	Marked	11	6	
Liver	None	4	15	0.051
	Moderate	6	4	
	Marked	2	1	
Kidney	None	0	9	0.055
	Moderate	5	8	
	Marked	7	4	
Heart	None	5	11	0.82
	Moderate	4	7	
	Marked	3	3	

\*  $\chi^2$ -test for  $2 \times 2$  tables with Yates' correction. Because of small numbers, the 'moderate' group was combined with the smallest other group for each organ for statistical analysis

Figure 56. Congestion histologique de différents organes des victimes d'avalanche comparés à d'autres autopsies. Stalsberg 1989 (58)

L'étude rétrospective menée sur les victimes d'avalanche autopsiées à l'IML de Grenoble retrouvait également cet œdème pulmonaire (93).

Chez les victimes survivantes des avalanches, un œdème pulmonaire, en dehors de l'œdème pulmonaire de réchauffement lors de la mise sous ECMO (94), est rarement retrouvé. Cela a conduit à des publications de type « case report » comme pour ce petit garçon enseveli ayant développé en 5 minutes un œdème pulmonaire à pression négative (95) ou chez cette jeune femme dont l'étiologie de l'œdème pulmonaire à la suite d'un ensevelissement de 20-30 minutes est discutée (96) : œdème pulmonaire à pression négative, œdème pulmonaire induit par l'hypoxie à la suite d'une hypertension artérielle pulmonaire et d'une insuffisance ventriculaire gauche. Bien que l'œdème pulmonaire soit une constatation fréquente en autopsie (97), ce différentiel important constaté entre les survivants et les victimes décédées peut faire questionner l'apparition de l'œdème pulmonaire comme un évènement très proche du décès (agonique), ou à son origine. Les thérapeutiques mises en œuvre pourraient alors cibler directement les mécanismes impliqués.

### c. L'œdème pulmonaire dans le cadre du protocole

Initialement, nous avons souhaité construire un protocole qui s'axerait spécifiquement sur l'œdème pulmonaire des victimes d'avalanche mais les déterminants de l'œdème pulmonaire sont principalement dynamiques et reposent sur des gradients de pression. Nous avons cherché dans la littérature s'il existait des méthodes pour différencier les différents types d'œdème pulmonaire en post-mortem. Nous n'avons trouvé aucun élément permettant d'identifier formellement la différence entre œdème hémodynamique et lésionnel. Des éléments permettent d'identifier un œdème à l'histologie plus en faveur d'une noyade : « emphysema aquosum » bien qu'il soit peu spécifique.

En nous basant sur la physiopathologie précédemment décrite, on constate que l'œdème hémodynamique (également appelé cardiogénique) vient principalement d'une insuffisance cardiaque aiguë. Or nous avons la possibilité de déterminer les décès d'origine cardiaque en médecine légale en nous appuyant sur le dosage de marqueurs cardiaques similaires à ceux utilisés en ante-mortem : la troponine et le BNP (98–102). Comme ces marqueurs ne permettent pas d'identifier directement l'étiologie de l'insuffisance cardiaque, il fallait prendre en compte l'ensemble des éléments pouvant conduire à un diagnostic précis et une interprétation correcte:

- présence d'une réanimation cardio-thoracique : certaines études tendraient à montrer qu'avec la réalisation d'une compression thoracique parfois traumatique, et par l'injection de drogues sympathomimétiques, la réanimation pourrait influencer les dosages réalisés mais les résultats sont contradictoires ;
- présence d'un traumatisme thoracique : il pourrait influencer les dosages par traumatisme cardiaque et dommages myocardiques ;
- présence d'un état cardiaque antérieur : influence sur les valeurs basales des dosages réalisés ;
- délai post-mortem : ce critère est le plus critique pour interpréter les dosages, il faut donc le recueillir avec la plus grande précision (seuils critiques : 12h et 48h).

Le seuil choisi concernant ces marqueurs est également essentiel (Figure 57). Il faut faire attention à la méthode utilisée pour le dosage.

	Sang fémoral	Liquide péricardique
Troponine T	250 ng/l (Gonzalez-Herrera and al.) 240 ng/l (Chen and al.) 600 ng/l (Remmer and al.) 600 ng/l (Ellingsen and al.) 8 025 ng/l (Cao and al.)	3 200 ng/l (Gonzalez-Herrera and al.) 8 800 ng/l (Chen and al.) 17 720 ng/l (Zribi and al.) 100 000 ng/l (Remmer and al.)
Troponine I	3 650 ng/l (Chen and al.) 9 100 ng/l (Cao and al.) 11 000 ng/l (Aissaoui and al.)	36 000 ng/l (Chen and al.) 86 200 ng/l (Cao and al.) 108 000 ng/l (Aissaoui and al.) 1 100 000 ng/l (Zhu and al.)

Figure 57. Seuils des marqueurs cardiaques en post-mortem retrouvés dans différentes études. Etude de Gonzalez-Herrera(103), Chen(104), Zribi (105), Remmer (106), Ellingsen (107), Zhu (108), Aissaoui (100)

Concernant les BNP dans le sang fémoral, le seuil proposé par Bañon and al est de 40.8 ng/l (102) ; concernant les NT-pro-BNP, Sabatasso and al proposaient le seuil de 220 000 000 ng/l avec une AUC de 65.4% (109).

L'analyse du cœur par les différents examens est également essentielle pour restituer ces dosages dans leur contexte : présence d'un état cardiaque chronique, subaigu ou aigu.

La présence de mécanismes ischémiques de type Tako-Tsubo serait également prise en compte par ces dosages. Cette étiologie de décès était probablement celle qu'on qualifiait de « décès d'origine psychologique » dans certaines études anciennes. Pour autant, il est peu probable que ce mécanisme soit majoritaire parmi les décès chez les victimes d'avalanche pour des raisons épidémiologiques.

## 6. L'hypothermie

Le froid a des effets complexes dans le cas des victimes d'avalanche : sur un sujet traumatisé, il peut aggraver le pronostic, mais il peut également avoir un effet protecteur sur les lésions d'asphyxie. L'hypothermie dans les cas de victimes d'avalanche est une hypothermie primaire, c'est-à-dire que les capacités à produire la chaleur vont être dépassées par l'exposition au froid.

De nombreuses informations dans les paragraphes suivants viennent des recommandations des Dr Pasquier et Dr Blancher sur l'hypothermie accidentelle publiées en 2019 (93).

### a. Physiopathologie

L'hypothermie résulte d'un déséquilibre entre la perte de chaleur et la production de chaleur.

La perte de chaleur peut se faire de 4 façons :

- la convection : perte de chaleur par contact avec un fluide ;
- la radiation : échange de chaleur sans contact en environnement froid ;
- la conduction : déperdition de chaleur par contact direct avec un objet froid ;
- l'évaporation.

Le vent et l'humidité vont être les principaux responsables des pertes de chaleur.

Le gain de chaleur va se faire par l'activité musculaire volontaire, tant que la personne en est capable, et involontaire (frissons). Ces mécanismes vont être peu importants pour réchauffer le cœur et les gros vaisseaux : pour diminuer la dissipation de chaleur dans l'environnement, le corps va réaliser une vasoconstriction cutanée. Dans le cas des victimes d'avalanche, les réponses comportementales vont être quasiment nulles car la personne est immobilisée, incapable de se couvrir, s'isoler, s'approcher d'une source de chaleur...

En modulant les échanges ioniques, les cellules exposées au froid vont diminuer leurs besoins énergétiques en protégeant les cellules cérébrales qui auront des besoins métaboliques en oxygène diminués. Métaboliquement, la victime d'hypothermie sera en hypokaliémie et en acidose lactique (mixte, incluant une part d'hypoventilation alvéolaire en plus de l'acidose lactique). En diminuant l'agrégation plaquettaire, l'hypothermie va favoriser les hémorragies.

Si initialement le patient hypotherme est agité, progressivement il sera confus, somnolent puis en coma aréactif, avec un aspect d'état de mort encéphalique (mydriase aréactive, absence de réflexe du tronc, EEG plat) et un aspect de rigidité pouvant aller jusqu'à faire évoquer des rigidités post-mortem. C'est pourquoi il est essentiel de ne pas conclure au décès sur des signes

de mort encéphalique chez une personne en état d'hypothermie. De même, il ne faudra pas interpréter l'EtCO<sub>2</sub> comme pronostic chez les patients hypothermes en arrêt cardiaque du fait de la modification du métabolisme du CO<sub>2</sub>.

Un arrêt cardiaque, par fibrillation ventriculaire ou asystolie, peut se voir pour des températures inférieures à 32 °C.

## Onde J d'Osborn

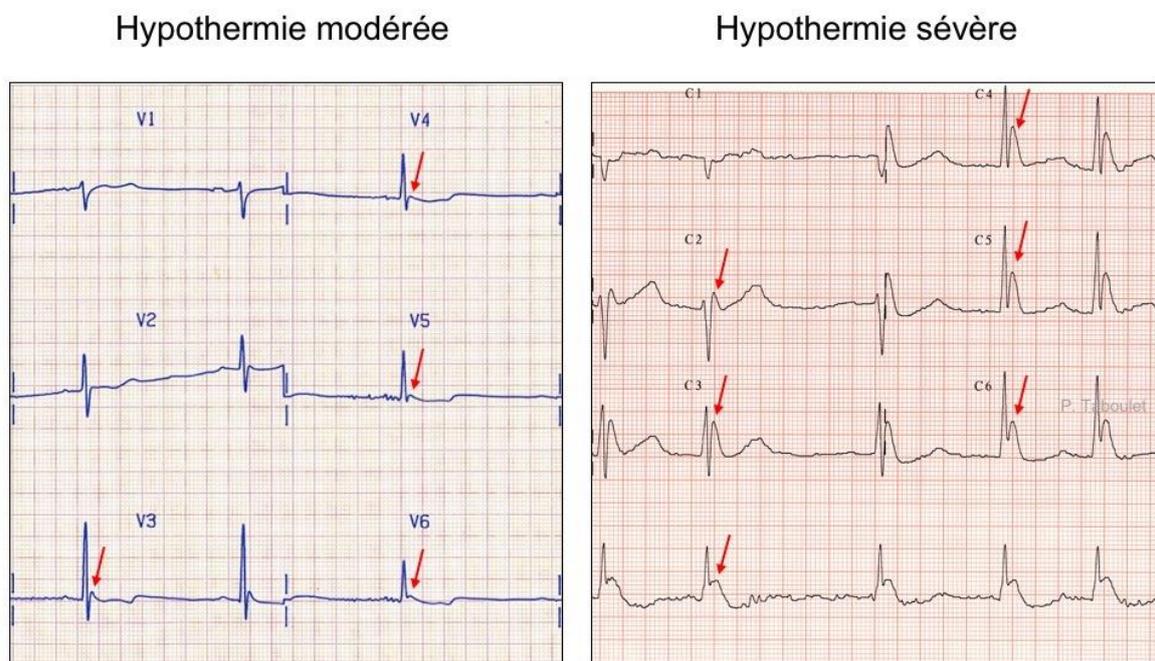


Figure 58. Onde J dite d'Osborn à l'ECG, quasiment spécifique de l'hypothermie. e-cardiogram (110)

### b. Vitesse de chute de la température corporelle

Il était considéré initialement que la couverture neigeuse allait prévenir l'hypothermie rapide, avec une diminution de température d'environ 3 °C par heure et rarement au-delà (article en allemand (111)). Une étude de 2021 suggère une évolution plus complexe de la température corporelle dans les cas d'avalanche (112). La chute de la température est très dépendante des conditions environnementales (habillement, climat, neige, etc) ce qui rend difficile de réaliser sur ce sujet une étude expérimentale. L'hypercapnie semble également augmenter la vitesse de la chute de la température corporelle (113).

### c. Rapports de cas

Certains cas rapportés dans la littérature sont particulièrement impressionnants, comme chez cette patiente qui a une évolution à long terme favorable, après un arrêt cardiaque de plus de 8 heures (114) (Figure 59), ou chez ce patient enseveli à 3 mètres de profondeur et retrouvé initialement avec une température corporelle de 22 °C (69). Ce second patient présentait également une des chutes de température les plus rapides enregistrée par la littérature (9 °C/h). En 1982, une récupération chez un patient victime d'avalanche avait été rapportée avec une température rectale initiale de 19 °C (115). La récupération la plus basse jamais enregistrée l'a été chez une femme retrouvée à 13.7 °C (hypothermie accidentelle non occasionnée par une avalanche) (116) (Figure 60).

Les sujets vont d'autant mieux supporter au niveau cérébral une hypothermie profonde, même conduisant à un arrêt cardiaque, qu'ils sont jeunes et en bonne santé (117).

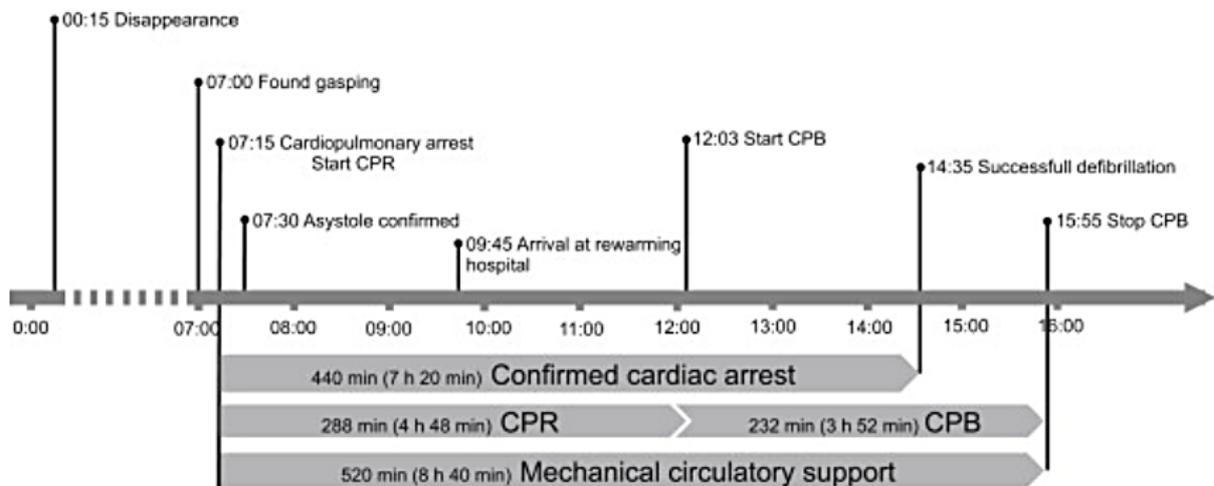


Figure 59. Resuscitation time-line. Meyer 2014 (114)

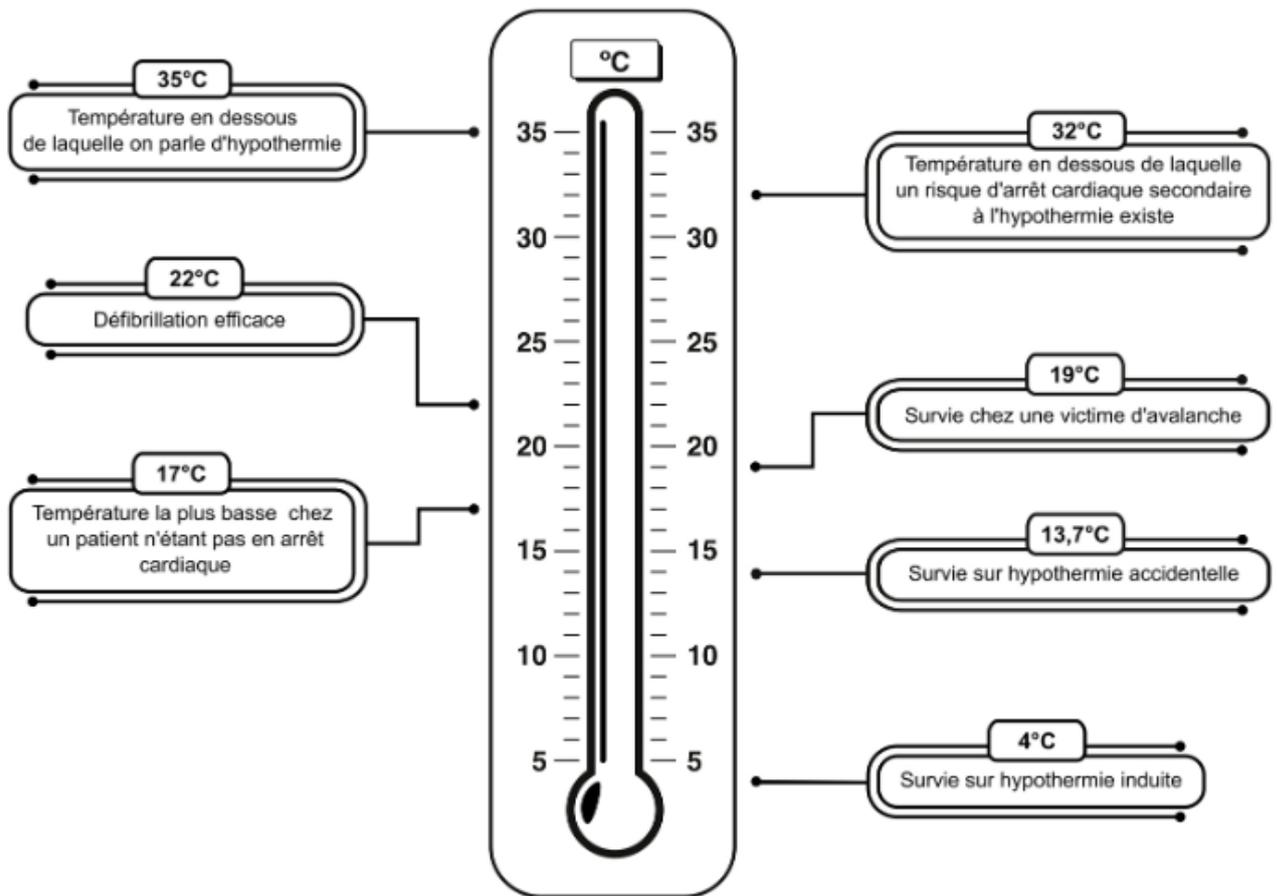


Figure 60. Records de températures les plus basses selon différentes situations cliniques. Pasquier et Blancher 2019 (118)

#### d. Les stades cliniques de l'hypothermie

L'hypothermie se définit comme la chute de la température corporelle en dessous de 35 °C.

La plupart des classifications de la gravité de l'hypothermie se basent sur :

- la température corporelle (staging selon la température) :
  - o légère 35-32 °C ;
  - o modérée 28-32 °C ;
  - o sévère < 28 °C ;
- en l'absence de température, sur les symptômes (staging selon la clinique) ; les principales classifications utilisées sont le Swiss System et le WMS (Figure 61).

**Table 1 Summary of the two main clinical staging systems for accidental hypothermia: the original Swiss system <sup>11</sup> and the Wilderness Medical Society classification.<sup>2</sup> WMS - Wilderness Medical Society.**

Swiss system <sup>11</sup>			WMS <sup>2</sup>		
Category	Clinical findings	Estimated core temperature (°C)	Category	Clinical findings	Estimated core temperature (°C)
<b>Stage 1</b>	Clear consciousness with shivering	35–32	<b>Mild</b>	Normal mental status, shivering, but not functioning normally and unable to care for self	35–32
<b>Stage 2</b>	Impaired consciousness without shivering	<32–28	<b>Moderate</b>	Abnormal mental status with shivering, or abnormal mental status without shivering, but conscious	32–28
<b>Stage 3</b>	Unconsciousness	<28–24	<b>Severe/profound</b>	Unconscious	<28
<b>Stage 4</b>	Apparent death	24–13.7			
<b>Stage 5</b>	Death due to irreversible hypothermia	<13.7? (<9?)			

*Figure 61. Swiss system et WMS classification of hypothermia.*

L’ICAR MedCom a établi un nouveau système de classification en 2021 (119) en s’appuyant davantage sur le risque d’arrêt cardiaque que sur la température corporelle. Il utilise l’échelle AVPU pour évaluer l’état de conscience d’un patient (Figure 62).

**Table 2 Comparison between the original Swiss staging system for accidental hypothermia and the Revised Swiss System. AVPU – Alert, Verbal, Pain, Unresponsive.**

	Original Swiss System <sup>11</sup> Clinical findings (estimated core temperature)	Revised Swiss System	Risk of hypothermic cardiac arrest
<b>Stage 1</b>	Clear consciousness with shivering (35–32 °C)	“Alert” from AVPU	Low
<b>Stage 2</b>	Impaired consciousness without shivering (32–28 °C)	“Verbal” from AVPU	Moderate
<b>Stage 3</b>	Unconsciousness (28–24 °C)	“Painful” or “Unconscious” from AVPU <b>AND</b> Vital signs present	High
<b>Stage 4</b>	Apparent death (<24 °C)	“Unconscious” from AVPU <b>AND</b> No detectable vital signs	Hypothermic cardiac arrest

*Figure 62. Revised swiss system.*

e. La réanimation chez le patient hypotherme

Le pronostic de récupération des arrêts cardiaques secondaires à l’hypothermie est bien meilleur (notamment concernant les séquelles) que les arrêts cardiaques normothermes.

Le diagnostic initial d’hypothermie va se faire par mesure de la température. La seule mesure valable est celle de la température œsophagienne (sonde au tiers inférieur de l’œsophage). Le gold standard est la mesure intravasculaire par cathéter artériel pulmonaire mais cette méthode est invasive et susceptible de provoquer des arythmies. La température tympanique n’est pas assez fiable et les températures rectale ou vésicale sont des alternatives mais reflètent mal la température centrale.

En préhospitalier, il faudra principalement appliquer des mesures de prévention, extraction du milieu, limitation des pertes de chaleurs, et transfert rapide à l’hôpital, et de réchauffement, passif ou actif si nécessaire. Chez un patient hypotherme, la recherche des signes vitaux est préconisée pendant 60 secondes (contre 10 habituellement) pour diagnostiquer un arrêt cardiaque. La réanimation cardiopulmonaire de l’arrêt doit être adaptée : pas plus de trois essais de défibrillation, et limitation des médicaments de réanimation.

Les raisons pour arrêter une RCP ou ne pas la débiter chez un patient hypotherme en arrêt cardiorespiratoire sont :

- la présence de directives anticipées valables ;
- des signes évidents de mort irréversible : décapitation, transection du torse, décomposition de tout le corps, thorax incompressible ;
- la mise en danger des intervenants ;
- un patient complètement enseveli dans une avalanche en asystolie, aux voies respiratoires complètement obstruées avec une durée d'ensevelissement > 60 minutes.

L'orientation doit se faire vers un centre disposant d'ECLS en cas :

- d'arrêt cardiaque ;
- de présence de signes d'instabilité cardiaque (tensions artérielle systolique < 90 mm Hg, arythmies ventriculaires) ;
- d'une température < 28 °C ;
- de manœuvres de réchauffement actif externe ne permettant pas d'augmenter la température d'au moins 1 °C par heure.

La réalisation de RCP intermittente est possible.

Le triage hospitalier des patients en arrêt cardiaque va principalement consister à établir s'il y a une indication d'ECLS. Il faudra obtenir un dosage de kaliémie, qui est marqueur de lyse et de souffrance cellulaire, au mieux par une gazométrie de l'artère fémorale, qui servira de marqueur de la présence d'une hypoxie préalable au refroidissement (120). L'arrêt de la réanimation se fera si kaliémie > 12 mmol/L, mais dès une kaliémie > à 8 mmol/L chez les victimes d'avalanche. Les autres critères retenus dans le score HOPE, qu'on peut calculer sur le site suivant : <https://www.hypothermiascore.org/>, sont l'âge, le sexe du patient, le mécanisme d'hypothermie, la composante d'asphyxie, la valeur de la température centrale et la durée de low-flow (118,121) (Figure 63).

HOPE is the result of an international collaborative project initiated and led by the Emergency Department of the University Hospital of Lausanne, Switzerland. HOPE provides a prediction of the survival probability in hypothermic cardiac arrest patients undergoing Extra-Corporeal Life Support (ECLS) rewarming. The survival probabilities range from 0% to 100% chance of survival to hospital discharge.

A cutoff of 10% to decide which hypothermic patients in cardiac arrest would benefit or not from ECLS rewarming was evaluated in an external validation study. The negative predictive value of a HOPE probability <10% was of 97%, and the AUC under the ROC curve was of 0.825 which suggest excellent discrimination.

HOPE should not be considered a substitute for clinical judgment or assessment. Of note, one is of course free to use a different cut-off than the proposed threshold of 10% for different subgroups of the population (e.g. for children). The proportion of avalanche victims was low in the validation HOPE study (4%). We recommend to use HOPE cautiously in this specific group of patients.

Estimates are desirable if variables are not known (e.g. age, CPR duration and temperature).

Age (in years)	<input type="text"/>
Sex	<input type="radio"/> Male <input type="radio"/> Female
Hypothermia	<input type="radio"/> with asphyxia (head fully covered by water or snow) AND in cardiac arrest at extrication <input type="radio"/> without asphyxia (immersion, outdoor or indoor cold exposure)
CPR duration (min)	<input type="text"/>
Serum Potassium (mmol/L)	<input type="text"/>
Temperature scale	<input checked="" type="radio"/> Celsius <input type="radio"/> Fahrenheit
Temperature	<input type="text"/>
<p>If you are using the HOPE survival probabilities to guide your decision about a real case, we would appreciate if you could give us your email address. We may contact you for additional information, specifically if ECLS was provided, and whether the patient survived or not.</p>	
Validate / submit	<input type="button" value="Submit"/>

Figure 63. HOPE Score. <https://www.hypothermiascore.org/>

#### f. Le diagnostic d'hypothermie en médecine légale

L'hypothermie est un diagnostic complexe en médecine légale, restant souvent un diagnostic d'exclusion. Il n'existe aucun élément pathognomonique du diagnostic d'hypothermie.

Sur les victimes d'avalanche, il est rare que soient réalisées des levées de corps médico-légales. Si toutefois c'était le cas, et de manière générale dans les décès d'hypothermie, l'évaluation du délai post-mortem est particulièrement délicate : la température corporelle ne peut s'interpréter au vu de l'environnement, et les processus taphonomiques sont ralentis. On doit repérer deux comportements évocateurs d'hypothermie (122) : le syndrome « hide and die », manœuvres de rampement et de grattage du sol afin de recouvrir le corps d'objets et d'éléments à l'origine de dermabrasions et contusions, et le déshabillage paradoxal, vasodilatation périphérique à l'origine d'une fausse impression de chaleur avec la découverte d'un corps dénudé avec des

vêtements à proximité. En fonction du contexte, devant un corps nu enseveli sous divers objets, il faudra tout d'abord évoquer la potentielle intervention d'un tiers.

A l'autopsie, certains éléments sont classiquement décrits (123) :

- une coloration rouge vif des hypostases témoignant davantage de l'exposition au froid que du décès par hypothermie ;
- une infiltration hémorragique du pancréas ;
- un érythème de gel « frost erythema » avec la présence d'une couleur brunâtre-rougeâtre en regard de la face extensive des grosses articulations ; cet érythème de gel viendra d'une hémolyse au froid avec une immunohistochimie positive à l'anti-hémoglobine (124) ;
- des lésions de Wischnewski correspondant à des pétéchies rondes ou ovales, multiples, mesurant 0.5 à 1 cm, sur la muqueuse gastrique, parfois un peu érodées ;
- l'« inner knee skin » correspondant à une hémorragie et/ou une hyperhémie de la membrane synoviale avec une coloration rougeâtre du liquide synovial, pouvant s'observer au niveau du genou mais aussi d'autres articulations ;
- des infiltrats hémorragiques musculaires par anomalie de la vasomotricité, avec l'atteinte des muscles ilio-psoas étant comme la plus décrite classiquement.

Au niveau histologique, certains éléments vont également permettre d'orienter vers le diagnostic d'hypothermie (125) :

- une vacuolisation du pôle basal des cellules péri-tubulaires rénales par accumulation d'acides gras libres intracytoplasmiques (stimulation de la cétogenèse) ;
- dégénérescence focale myocardique ;
- modification de l'histologie pancréatique : pancréatite aiguë, nécrose pancréatique ou au contraire conservation anormalement importante du parenchyme, infiltration hémorragique.

L'analyse biochimique apparaît de plus en plus déterminante dans la constitution des arguments au diagnostic d'hypothermie mais ces analyses sont encore peu usitées en pratique médico-légale habituelle :

- augmentation des catécholamines urinaires et de leurs dérivés O-méthoxylés (126) (Figure 64) ;

- autres méthodes, principalement : augmentation du cortisol urinaire, augmentation de l'hydroxybutyrate sérique (conjointement à l'éthanol), augmentation de l'acide gras libre.

**Tableau 1** Calcul des sensibilités, spécificités, valeurs prédictives positives (VPP) et valeurs prédictives négatives (VPN) des catécholamines et de leur dérivés O-méthylés urinaires selon les données de Palmiere et al. [76].

Paramètre exploré	Seuil	Sensibilité (%)	Spécificité (%)	VPP (%)	VPN (%)
Adrénaline (Ad)	40	72	87	88	69
Noradrénaline (NAd)	493	48	100	100	58
Dopamine	251	65	90	90	65
Métanéphrine	95	87	72	81	80
Normétanéphrine	280	81	72	80	73
3-Méthoxytyramine	126	78	75	81	71
Ratio Ad/Nad	0,192	53	73	73	53

Les valeurs seuils sont exprimées en nmol/mmol de créatininurie, à l'exception du ratio Ad/Nad.

Figure 64. Sensibilité, spécificités, valeurs prédictives positives et négatives des catécholamines et leurs dérivés O-méthoxyles urinaires. Rousseau 2018 (125)

Concernant l'imagerie, une étude récente a recensé les anomalies les plus fréquemment retrouvées sur les scanners réalisés chez les victimes d'hypothermie : modification du parenchyme pulmonaire, caillot sanguin dans le cœur, l'aorte thoracique et l'artère pulmonaire, et rétention urinaire. L'association de ces trois facteurs avait une sensibilité de 29%, une spécificité de 100%, une valeur prédictive positive de 100% et une valeur prédictive négative de 76% pour le diagnostic d'hypothermie (127).

## **7. Objectif général du projet de recherche**

L'objectif de ce projet est de réunir des éléments précis qui permettront d'analyser de manière fine les causes de décès des victimes d'avalanche, notamment l'asphyxie, mécanisme principal.

Nous avons mis en place un protocole prospectif afin de ne pas disposer de données parcellaires et/ou biaisées. Cela n'a encore jamais été réalisé chez les sujets victimes d'avalanche.

Nous avons également souhaité que ce protocole soit multidisciplinaire afin de pouvoir recouper un ensemble de données précises.

Les informations protocolisées concernent le contexte de l'accident d'avalanche, des données d'imagerie, d'autopsie, d'anatomopathologie et de biochimie.

Cela permettra de comprendre pour chaque sujet ce qui a conduit à son décès.

Une attention particulière sera portée aux œdèmes pulmonaires constatés dans la bibliographie pour pouvoir dans ce cas réfléchir à leur genèse.

# III. Matériel et méthodes

1.	NOM DU PROTOCOLE	108
2.	METHODOLOGIE GENERALE	108
3.	CENTRE D'ETUDE ET POPULATION	109
A.	Centre	109
B.	Population	110
C.	Durée d'étude	110
4.	OBJECTIF ET CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL	111
A.	Objectif principal	111
B.	Critère de jugement principal	112
5.	OBJECTIFS ET CRITERES DE JUGEMENT SECONDAIRES	112
A.	Objectifs secondaires	112
a.	La détermination du mode de décès	112
b.	Nombre de décès avec des caractéristiques correspondant à une noyade	113
c.	Nombre de décès avec la participation d'un mécanisme d'hypothermie	113
d.	Nombre de décès avec la présence d'un œdème pulmonaire	113
e.	Dégagement d'hypothèses physiopathologiques concernant la présence d'un œdème pulmonaire	113
f.	Dégagement d'hypothèses physiopathologiques concernant le mécanisme des décès par asphyxie	113
B.	Critères de jugement secondaires	114
6.	DONNEES COLLECTEES	115
A.	Contextuelles	115
B.	Autopsiques	115
C.	Biochimiques	116
D.	Radiologiques	117
E.	Anatomopathologiques	117
7.	NOMBRE DE SUJETS NECESSAIRES	118
8.	STATISTIQUES	119

## **1. Nom du protocole**

Nous avons choisi comme titre principal de l'étude « A prospective study of avalanche fatalities : about asphyxia and death », avec comme acronyme « PSAAD ».

Ce titre permet de mettre en exergue les points principaux du projet :

- l'aspect prospectif du projet, qui était le point méthodologique novateur ;
- le fait que nous souhaitons nous concentrer sur le mode de décès majoritaire dans les accidents d'avalanche : l'asphyxie.

## **2. Méthodologie générale**

Il s'agit d'une étude épidémiologique.

Au vu du sujet, il est impossible de mener une étude expérimentale (de contrôler l'intervention). L'étude est donc observationnelle, non expérimentale.

Au niveau méthodologique, nous n'avons pas mis en place un groupe contrôle. Au vu du nombre de sujets attendus et des paramètres analysés, il apparaissait difficile de mettre en place une méthode suffisamment solide méthodologiquement pour permettre d'obtenir un groupe contrôle de qualité. En l'absence de groupe contrôle, il s'agit d'une étude descriptive.

Les études concernant l'analyse des causes de décès des victimes d'avalanche sont exclusivement des études rétrospectives, où tous les facteurs ne sont pas contrôlables. Pour améliorer le niveau de preuve, il était important de protocoliser en amont l'étude, afin de pouvoir obtenir des données de manière prospective.

### 3. Centre d'étude et population

#### A. Centre

Il s'agit d'une étude monocentrique, à Grenoble.

L'IML de Grenoble autopsie la majorité des victimes d'avalanche du territoire français du fait de sa situation géographique et des parquets qui lui sont associés (Figure 65).

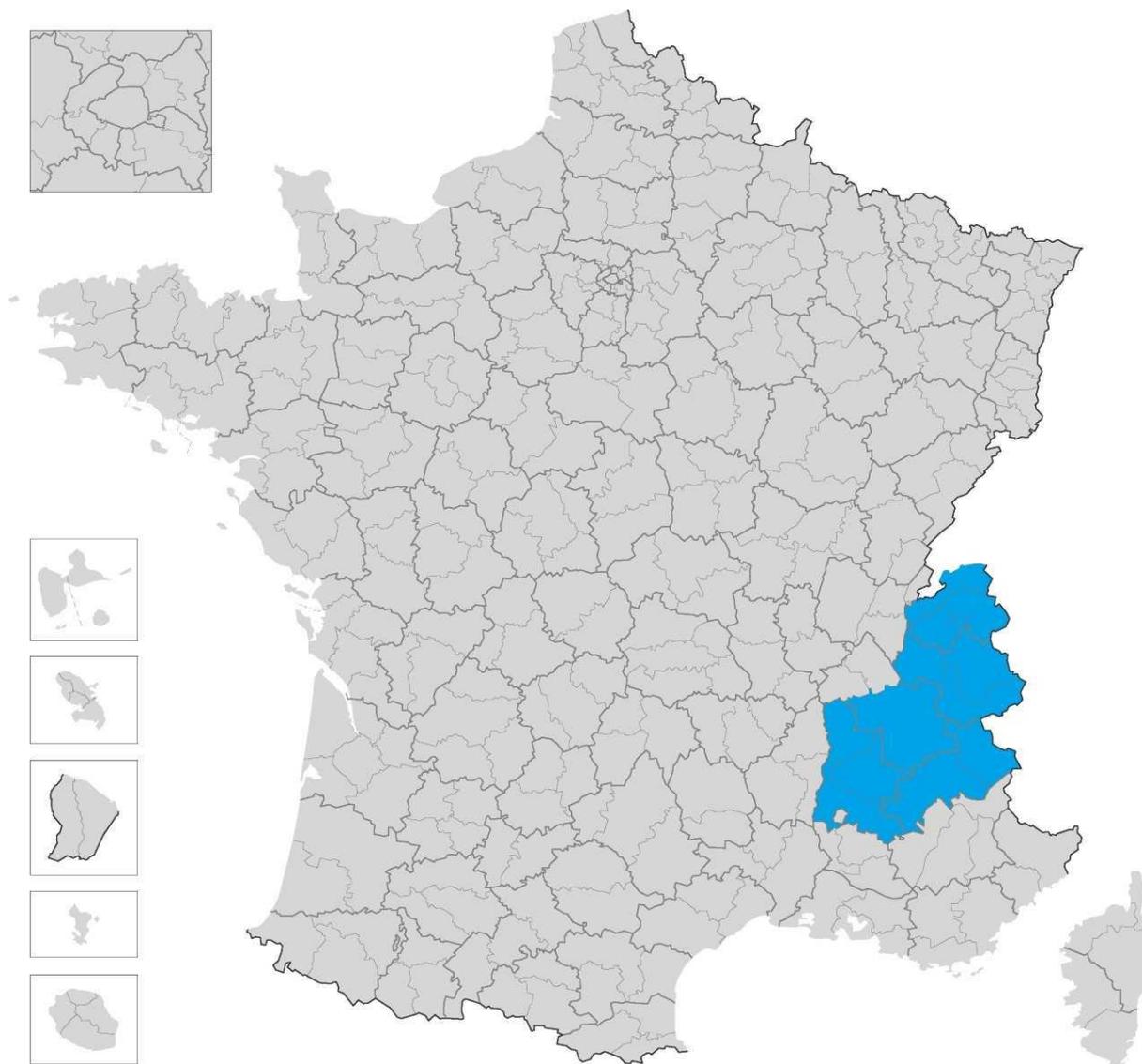


Figure 65. Territoire de l'IML de Grenoble

Durant la saison 2018-2019, l'ANENA a répertorié 12 accidents mortels qui se sont produits majoritairement sur le territoire de l'IML de Grenoble (Figure 66).

Départements	Nombre d'accidents	Nombre d'accidents mortels	Nombre de décédés
Haute-Savoie	10	2	2
Savoie	29	6	6
Isère	11	2	3
Hautes-Alpes	6	1	1
Alpes-Haute-Provence	4	0	0
Alpes-Maritimes	3	1	1
Hautes-Garonne	1	0	0
Pyrénées-Orientales	1	0	0
Corse	1	0	0
Vosges	2	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>68</b>	<b>12</b>	<b>13</b>

Figure 66. Statistiques des accidents d'avalanche saison 2018-2019. (40)

## B. Population

La population choisie comprend l'ensemble des victimes d'avalanche autopsiées à l'IML de Grenoble. Les critères de non-inclusion sont : victimes mineures, présence d'une opposition à l'utilisation des données dans le cadre de la recherche (recherche effectuée dans le dossier médical).

Nous ne souhaitons pas mettre davantage de critères de non-inclusion, pour ne pas biaiser les résultats, et pour obtenir un nombre suffisant de sujets. Cela permet d'obtenir un échantillon le plus représentatif possible de la population étudiée (victimes d'avalanche décédées).

## C. Durée d'étude

La durée d'étude prévisible est de 5 ans, soit 5 saisons d'hiver.

En moyenne, il y a entre 20 et 30 décès chez les victimes d'avalanche par an (Figure 67). Parmi ceux-ci, le nombre de victimes autopsiées à l'IML de Grenoble est variable : 25 autopsies réalisées entre 2010 et 2017 (62).

Pour obtenir le nombre de sujets nécessaires, calculé à 38 (cf III-7), il nous apparaissait raisonnable d'envisager au moins 5 ans d'étude avec un recrutement moyen de 1 à 2 autopsies par mois durant les saisons de sports d'hiver.

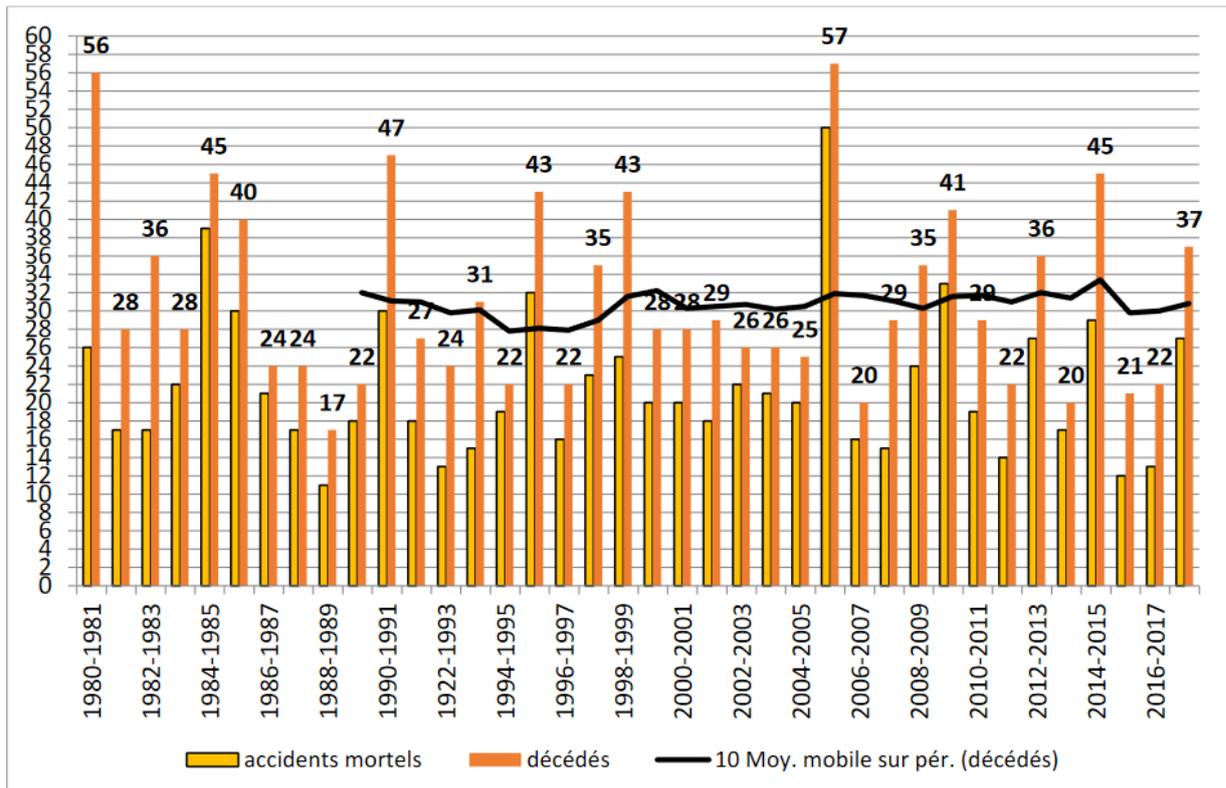


Figure 67. Distribution annuelle du nombre d'accidents mortels et de décès par avalanche en France 1980-2018. (40)

## 4. Objectif et critère de jugement principal

### A. Objectif principal

L'objectif principal est l'évaluation du taux de décès avec une participation cardiaque chez les victimes d'avalanche.

Cet objectif principal permet de s'axer directement sur une hypothèse physiopathologique précise et pertinente au vu de la littérature existante et de ce que nous souhaitons analyser dans cette étude. Les décès d'origine cardiaque chez les victimes d'avalanche sont sous-tendus par des mécanismes spécifiques, pouvant impliquer la genèse d'un œdème pulmonaire et entraîner une prise en charge particulière et adaptée.

Nous avons souhaité initialement nous orienter vers un objectif principal nous permettant d'analyser et de différencier les mécanismes hémodynamiques et lésionnels des œdèmes pulmonaires mais malgré une recherche bibliographique approfondie, nous n'avons pu réussir à trouver un critère de jugement nous permettant de séparer de manière spécifique ces deux entités.

## **B. Critère de jugement principal**

Le critère de jugement principal est un critère biochimique, avec comme seuils retenus : troponine I > 9 100 ng/l et/ou NT-pro-BNP > 2 200 000 ng/l dans le sang fémoral.

# **5. Objectifs et critères de jugement secondaires**

## **A. Objectifs secondaires**

### a. La détermination du mode de décès

Selon les catégories suivantes :

- asphyxie ;
- traumatisme ;
- hypothermie ;
- causes multiples intriquées.

Cet objectif secondaire est essentiel pour permettre une vision globale des modes de décès, et permettre la comparaison avec d'autres études.

b. Nombre de décès avec des caractéristiques correspondant à une noyade

Chez les victimes d'avalanche, les décès par noyade, par fonte de neige, n'apparaissent pas comme une évidence parmi les autres mécanismes d'asphyxie. L'œdème pulmonaire alors retrouvé pourrait être lésionnel.

c. Nombre de décès avec la participation d'un mécanisme d'hypothermie

L'hypothermie reste encore un diagnostic d'élimination chez les victimes d'avalanche si elle est isolée. Sa participation dans les décès d'autres étiologies pourrait en revanche être importante. Analyser le nombre de décès dans lesquels on retrouve des éléments évoquant une hypothermie, même lorsqu'elle n'apparaît pas comme étant l'élément unique responsable du décès, permettrait de comprendre davantage sa fréquence réelle et son rôle parmi les décès.

d. Nombre de décès avec la présence d'un œdème pulmonaire

Les données de la thèse du Dr D'Alnoncourt ont permis de mettre en évidence la présence d'un œdème pulmonaire chez les victimes décédées dans des avalanches (93).

C'est probablement pour ce critère secondaire que l'absence d'un groupe contrôle peut être le plus dommageable car l'œdème pulmonaire est une constatation fréquente lors des autopsies (97).

e. Dégagement d'hypothèses physiopathologiques concernant la présence d'un œdème pulmonaire

Les mécanismes physiopathologiques de ces œdèmes pulmonaires nous paraissent essentiels à comprendre, du fait de la multiplicité possible des voies impliquées et des traitements spécifiques dont elles peuvent bénéficier.

f. Dégagement d'hypothèses physiopathologiques concernant le mécanisme des décès par asphyxie

Si l'œdème pulmonaire est présent dans de nombreux décès par asphyxie, il n'est pas nécessairement présent dans tous les mécanismes possibles. Par exemple, on pourrait penser qu'il serait absent dans les cas de compression thoracique avec l'impossibilité de réaliser la mécanique ventilatoire. La plupart des études sur les victimes d'avalanche englobent tous les mécanismes dans une seule et même catégorie alors que les mécanismes impliqués sont

multiples et les réponses appelées peuvent être particulières. L'asphyxie est déterminante pour le pronostic vital des accidentés d'avalanche, et bien comprendre tous les tenants et aboutissants de son origine permettrait de mieux cibler le pronostic face à une victime.

## **B. Critères de jugement secondaires**

La détermination du mode de décès s'appuie sur l'ensemble des éléments collectés, et fait suite à une discussion multidisciplinaire.

Les caractéristiques permettant de s'orienter vers une noyade sont notamment l'état du parenchyme pulmonaire et des voies aériennes supérieures, ainsi que la présence d'un emphysema aquosum à l'anatomopathologie.

Les caractéristiques permettant d'impliquer une part d'hypothermie sont des données d'autopsie : des lividités rosées ou rouge brillant, la présence d'un érythème au froid, la présence de taches de Wischnewski, la présence d'hémorragie du muscle psoas (sauf traumatisme associé dans la même région) ; des données biochimiques : le dosage des catécholamines et leurs dérivés urinaires ; des données d'imagerie : analyse du parenchyme pulmonaire, présence de caillots sanguins, rétention urinaire ; des données d'anatomopathologie : présence d'une vacuolisation du pôle basal des cellules rénales, état de conservation du pancréas.

L'œdème pulmonaire est diagnostiqué s'il est retrouvé par au moins une de ces disciplines : autopsie, radiologie, anatomopathologie. Nous avons choisi de ne pas le quantifier du fait des nombreux facteurs pouvant conduire à l'obtention d'une donnée erronée : zones déclives avec présence de stases variables, zone prélevée difficile à harmoniser, etc. Cela pourrait être intéressant dans une autre étude dont l'objectif serait de codifier certains paramètres pour permettre d'analyser les différences quantitatives et qualitatives dans l'analyse de l'œdème pulmonaire selon ces différentes disciplines.

Avec l'ensemble des éléments, nous souhaitons discuter et vérifier les mécanismes physiopathologiques de l'œdème pulmonaire et des asphyxies chez les victimes d'avalanche.

## 6. Données collectées

### A. Contextuelles

Les caractéristiques de l'accident d'avalanche à connaître sont :

- Concernant l'ensevelissement :
  - o A-t-il été partiel ou complet ?
  - o Combien de temps a-t-il duré ?
- Une réanimation cardio-pulmonaire a-t-elle été réalisée ?
- Une poche d'air était-elle présente ?
- La température initiale du corps a-t-elle pu être relevée ? Si oui, à combien était-elle ?
- Quelles étaient les caractéristiques de la neige, et de l'avalanche ?
- La victime disposait-elle d'un dispositif de secours ? Si oui, lequel ?

Ces données peuvent être récoltées par le biais des enquêteurs présents au moment de l'autopsie, et si elles sont incomplètes, auprès des secours qui sont intervenus sur place.

Ces données permettent d'obtenir des éléments d'épidémiologie et également d'interpréter les autres données récoltées.

### B. Autopsiques

Il est essentiel de noter le délai écoulé entre l'accident et l'autopsie pour pouvoir interpréter les données collectées, notamment la biochimie, fortement impactée par ce paramètre.

Les éléments devant être notés lors de l'autopsie médico-légale sont :

- la couleur des lividités ;
- la présence d'un érythème au froid ;
- la présence de taches de Wischnewski ;
- la présence d'hémorragie du muscle psoas ;
- la présence de lésions traumatiques d'organes ;
- la présence de lésions traumatiques osseuses ;
- la présence de spume dans les voies aériennes ; si présente, préciser la localisation, la coloration et l'abondance ;
- le poids des poumons ;
- la présence d'un œdème pulmonaire ; si présent, préciser son abondance ;

- la présence d'une congestion pulmonaire ; si présente, préciser son abondance.

Ces données permettent d'obtenir des arguments en faveur des différents mécanismes de décès.

Nous signalons ici que si nous avons développé l'« inner knee skin » dans les signes évocateurs d'hypothermie, celui-ci nécessite de réaliser des techniques invasives supplémentaires sur le corps par rapport à une autopsie classique, ce que nous n'avons pas souhaité (ponction articulaire, ouverture au scalpel de l'articulation).

### **C. Biochimiques**

Les liquides biologiques suivants doivent être récupérés lors de l'autopsie :

- liquide péricardique ;
- sang périphérique (iliaque) ;
- urines.

Les dosages biochimiques devant être réalisés sont :

- le dosage de troponine et de NT-pro-BNP sur liquide péricardique et sur sang périphérique (sang iliaque) ;
- le dosage de catécholamines (adrénaline) et dérivés O-méthoxylés (méthanéphrine) dans les urines.

Pour cela il faut disposer de :

- tubes héparinés avec ou sans gel pour le sang ;
- tubes secs ou flacons secs pour le liquide péricardique ;
- flacons préparés spécifiquement dans les 24h précédant l'autopsie avec de l'acide acétique pour les urines.

Les dosages de marqueurs cardiaques, troponine et NT-pro-BNP, permettront d'évaluer la part de décès avec une participation cardiaque ; les dosages de catécholamines et dérivés permettront d'évaluer la part de décès avec une participation hypothermique.

Nous avons choisi de réaliser les prélèvements sur sang périphérique iliaque et non fémoral pour ne pas réaliser une incision supplémentaire par rapport à une autopsie classique.

## **D. Radiologiques**

Un body-scanner post-mortem préalable à l'autopsie doit être réalisé.

Le compte-rendu radiologique établi par un radiologue formé en radiologie post-mortem doit être récupéré.

Plus spécifiquement, les informations suivantes doivent être relevées :

- la présence de lésions traumatiques d'organes, particulièrement thoraciques ;
- la présence de lésions traumatiques osseuses ;
- la présence d'un œdème pulmonaire et son abondance ;
- la présence de signes pouvant faire évoquer une hypothermie : analyse du parenchyme pulmonaire, présence de caillots sanguins, rétention urinaire.

## **E. Anatomopathologiques**

Les organes suivants doivent être récupérés lors de l'autopsie et mis immédiatement dans du formol :

- un fragment de chaque lobe pulmonaire ;
- un fragment de chaque rein comprenant de la corticale et de la médullaire ;
- le cœur en entier ;
- un fragment de pancréas.

Le compte rendu d'anatomopathologie établi par un pathologiste formé en anatomopathologie médico-légal doit être récupéré.

Plus spécifiquement, les informations suivantes doivent être relevées :

- présence d'une hémorragie intra-alvéolaire ;
- présence d'un œdème pulmonaire et caractérisation de l'œdème pulmonaire : séro-hématique ou hydro-aérique, et abondance ;
- présence d'une vacuolisation du pôle basal des cellules rénales ;
- état de conservation du pancréas ;
- présence d'un état cardiaque antérieur ;
- présence d'un état cardiaque aigu ou subaigu.

## 7. Nombre de sujets nécessaires

Le nombre de sujets nécessaires (NSN) a été calculé avec l'aide d'un méthodologiste, le Dr Alexandre Bellier.

Nous avons réalisé ce calcul, bien qu'il ne soit pas systématiquement réalisé dans les études descriptives, afin d'avoir une meilleure vision sur la puissance de notre étude et d'aider à la validation de nos conclusions.

Il a été calculé comme suit (Figure 68) :

- les chiffres concernant les décès d'origine cardiaque chez les victimes d'avalanche ne sont pas connus (objectif de la présente étude). La proportion attendue de victimes d'asphyxie parmi les victimes d'avalanche est de  $\frac{3}{4}$  (d'après les données de la littérature, dont une étude rétrospective menée à Grenoble). Parmi ces victimes, il est raisonnable de penser que  $\frac{2}{3}$  des asphyxies aient un mécanisme cardiaque. Parmi les victimes dont le décès est d'origine traumatique ou hypothermique, la part prise par le mécanisme cardiaque est négligeable (traumatisme thoracique cardiaque). La proportion attendue du critère principal dans la population est donc de  $50\% \frac{3}{4} * \frac{2}{3}$  ;
- la précision souhaitée est de 0.1 (10%) ;
- le risque alpha accepté est de 0.05 (5%).

Soit :

$$\frac{1.96 * 1.96 * (1 - \textit{proportion attendue})}{\textit{proportion attendue} * \textit{sensibilité attendue}} = \frac{1.96 * 1.96 * (1 - 0.5)}{0.5 * 0.1} = 38$$

Figure 68. Calcul du nombre de sujets nécessaires (NSN)

Le nombre de sujets attendus est donc de 38 sujets.

## 8. Statistiques

Les statistiques utilisées sont classiques, avec les tests adaptés aux différentes variables utilisées.

Elles sont univariées, à l'exception de deux ajustements qui seront réalisés sur le critère de jugement principal :

- la présence d'un traumatisme thoracique : facteur confondant de la présence de troponine et BNP ;
- la présence d'un œdème pulmonaire, ce qui permettra d'orienter les hypothèses physiopathologiques de la genèse de l'œdème pulmonaire.

## **IV. Résultats attendus**

Nous espérons donc avec ce projet recueillir des données exhaustives et prospectives sur 38 patients victimes d'avalanche.

L'objectif principal est l'évaluation du taux de décès avec une participation cardiaque via l'analyse de marqueurs biochimiques.

Les objectifs secondaires cherchent à améliorer la réflexion concernant les modes de décès dont les processus sont encore parfois discutés : noyade, compression thoracique... L'objectif est également une meilleure appréhension de la place de certains mécanismes spécifiques comme l'hypothermie et l'œdème pulmonaire.

La rigueur méthodologique et un recueil de données exhaustives permettra d'affiner les connaissances physiopathologiques, au-delà de la simple intuition et de l'empirisme non rationalisé ou codifié, dans le cadre d'une recherche scientifique clinique où la médecine légale a toute sa place.

# V. Montage du projet

1.	<b>MONTAGE DU PROJET</b>	<b>122</b>
a.	Déroulement en pratique du protocole	122
b.	Protocole de biochimie	125
c.	Feuille de renseignements autopsie	127
2.	<b>DEMARCHES REGLEMENTAIRES</b>	<b>129</b>
3.	<b>RECHERCHE DE FINANCEMENT</b>	<b>131</b>
A.	<b>Recherche d'appel d'offre</b>	<b>131</b>
B.	<b>Démarches effectuées auprès de l'appel d'offre interne</b>	<b>131</b>
C.	<b>Autres recherches de financement</b>	<b>132</b>
a.	Auprès des disciplines impliquées	132
b.	Auprès des associations	133
c.	Auprès des sociétés françaises	133
d.	Auprès de la justice	133
4.	<b>INTERETS DU PROJET</b>	<b>133</b>
5.	<b>DIFFICULTES DE REALISATION</b>	<b>134</b>

# 1. Montage du projet

Ce projet résulte d'une volonté d'inscrire la médecine légale dans une démarche pluridisciplinaire et de lui faire profiter des technologies pouvant être à sa disposition. Cette démarche est commune à toutes les spécialités médicales actuelles.

Pour cela j'ai eu la chance de pouvoir m'adresser à de nombreux interlocuteurs, et de bénéficier de leur aide et leurs compétences au cours de ce projet.

Les difficultés étaient de passer d'un projet théorique à sa réalisation pratique et savoir comment allait pouvoir se dérouler dans les faits le protocole, et d'anticiper les procédures nécessaires.

## a. Déroulement en pratique du protocole

Le déroulement jusqu'à l'inclusion est décrit dans la Figure 69.

Le déroulement après l'inclusion est décrit dans la Figure 70.

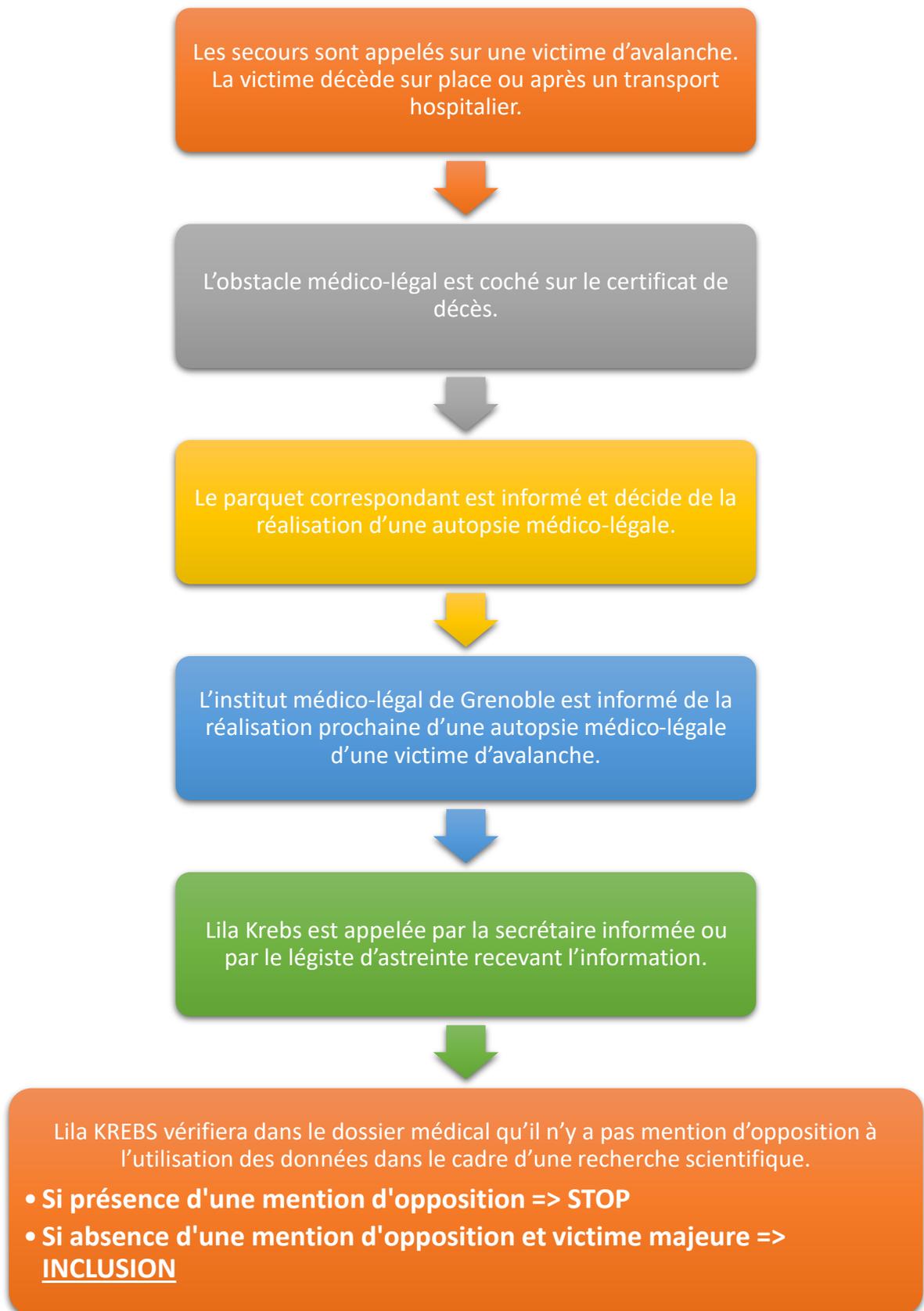


Figure 69. Déroulement du protocole jusqu'à l'inclusion de la victime.



Figure 70. Déroulement du protocole après l'inclusion.

b. Protocole de biochimie

Le protocole de biochimie a été rédigé avec l'aide des toxicologues et des biochimistes, notamment les Dr Eysseric, Dr Willeman et Dr Guergour (Figure 71).

## Protocole Avalanche : Biochimie Médicolégale

**Objectifs :** établir une collecte de données prospective en postmortem sur les modes de décès et préciser les étiologies de l'asphyxie chez les victimes d'avalanches.

**Interlocutrice :** Lila Krebs-Drouot

[Données à caractère personnel]

### Prélèvements :

Les autopsies ont lieu le matin, les prélèvements seront donc amenés par un médecin légiste entre 10h et 13h.

1) Sang : 1 tube hépariné de 5 mL vert foncé sans gel :

Analyses en biochimie Unité Biochimie Immunoanalyse : troponine et NT-Pro-BNP.

2) Liquide péricardique : 1 tube 5 ml bouchon rouge :

Analyses en biochimie Unité Biochimie Immunoanalyse : troponine et NT-Pro-BNP.

3) Urines : 1 flacon bouchon rouge à préparer **extemporanément**.

Préparer un flacon rouge de 40 mL avec 10 µL d'acide acétique pour la veille ou le jour de l'autopsie (attention à l'évaporation : identification rigoureuse du flacon).

Analyses service de biochimie Unité BHN au R+2, pièce à gauche de l'aquarium : Catécholamines et dérivés méthoxyles.

### Gestion au laboratoire :

Centrifugation rapide du tube de sang.

Enregistrement **de 3 dossiers SIL en ENR** Création (UF = 3010 ; RCO = Personne DCD)

1) Pour le sang : Troponine I = TROP et NT-Pro-BNP = BNP

2) Pour le liquide péricardique : il n'existe pas de code pour ce milieu, un deuxième dossier sera enregistré avec en RCO la nature du prélèvement (liquide péricardique) Troponine I = TROP et NT-Pro-BNP = BNP

3) Pour les urines : Catécholamines = CAT et Dérivés méthoxyles = DM

Prévenir à l'avance de l'arrivée des prélèvements (par Lila KD ou le légiste) :

- Les Dr Despinasse, Dr Guergour et Dr Chirica d'une arrivée de protocole avalanche.
- Les Dr Benoit Chovelon ou Dr Lysiane Boulet d'une analyse de CAT dans les urines.

Environ 5 à 15 prélèvements sont attendus par an.

Figure 71. Protocole biochimie avalanche.

c. Feuille de renseignements autopsie

Une feuille permettant de recueillir de manière exhaustive les données sera disponible en salle d'autopsie (Figure 72).

## Protocole Avalanche : renseignements

### Renseignements sur l'accident d'avalanche :

- **Ensevelissement :**
  - Partiel / Complet / NSP
  - Durée : \_\_\_\_\_
- Réalisation d'une **RCP** : oui / non / NSP
- Présence d'une **poche d'air** : oui / non / NSP
  - Quantification de la poche d'air : \_\_\_\_\_L
- **Température initiale du corps** : \_\_\_\_°C / NSP
- **Caractéristiques de l'avalanche** : en plaque / poudreuse / humide / NSP
- **Densité de la neige** : \_\_\_\_\_ / NSP
- Possession d'un **dispositif de secours** par la victime : oui / non
  - Le(s)quel(s) : DVA / Airbag / Avalung / Recco / Autre : \_\_\_\_\_

### Renseignements sur l'autopsie :

- Couleur des lividités : pâle, absente / rosée et brillante / bleutée et sombre
- Erythème au froid : oui / non
- Taches de Wischnewski : oui / non
- Hémorragie du muscle psoas : oui / non
- Lésions traumatiques d'organes : oui / non
  - Le(s)quel(s) : \_\_\_\_\_
- Lésions traumatiques osseuses : oui / non
  - Le(s)quel(s) : \_\_\_\_\_
- Spume dans les voies aériennes : oui / non
  - Localisation : \_\_\_\_\_
  - Couleur : \_\_\_\_\_
  - Abondance : \_\_\_\_\_
- Poids des poumons : gauche \_\_\_\_\_ g droit \_\_\_\_\_ g
- Œdème pulmonaire : oui / non
  - Abondance : légère / modérée / importante
- Congestion pulmonaire : oui / non
  - Abondance : légère / modérée / importante

Figure 72. Protocole autopsie avalanche.

## 2. Démarches réglementaires

Il s'agit, comme dit précédemment dans la partie méthodologie, d'une étude observationnelle, épidémiologique, descriptive, de cohorte (Figure 73).

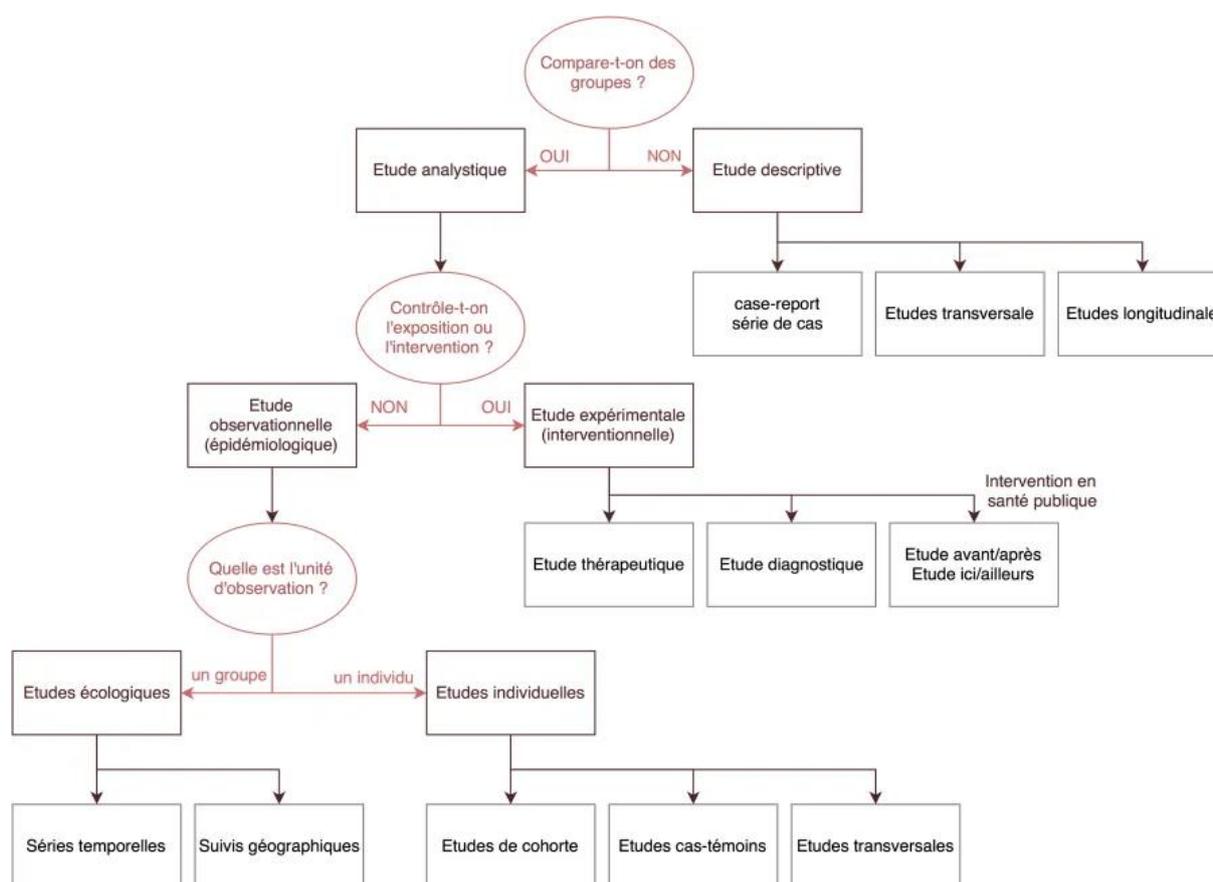


Figure 73. Algorithme des études quantitatives. lepcam.fr

Le protocole a été classé par la DRCI comme recherche n'impliquant pas la personne humaine, ce qui l'exclut du champ de la loi Jardé (Figure 74). Les données analysées sont considérées comme étant recueillies dans le cadre du soin et conformément au soin (ici le soin s'entendant comme les examens réalisés en post-mortem). En effet, les prélèvements de liquide biologique et de fragments d'organes font partie des prélèvements classiques réalisés au cours d'une autopsie, de même une imagerie peut être demandée de manière habituelle.

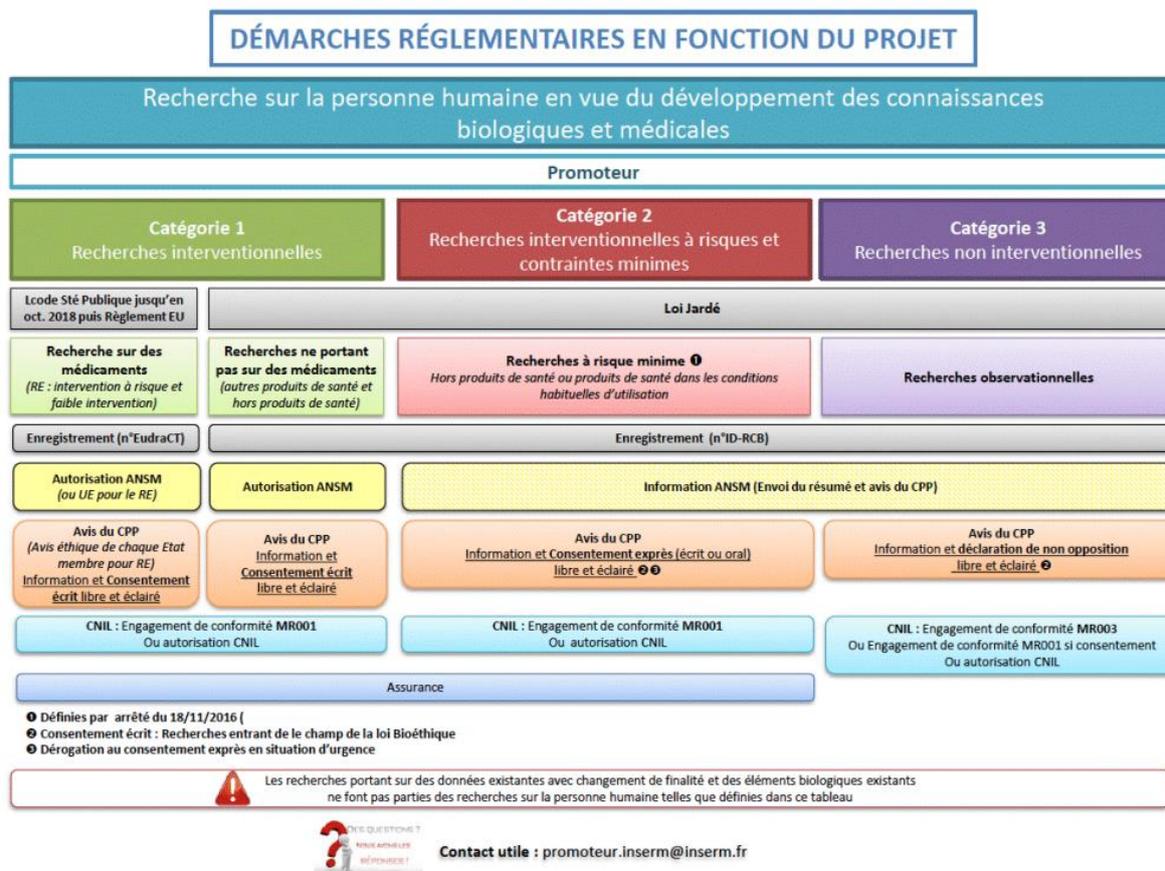


Figure 74. Démarches réglementaires de la Loi Jardé. (128)

Dans le cadre des RNIPH, le protocole doit être approuvé par la CNIL (129). Au sein des CHU, un accord existe entre la CNIL et la DRCI, permettant de simplifier la démarche pour obtenir un accord en passant uniquement par une demande auprès de la DRCI, faisant office d'autorisation CNIL et d'inscription au registre (engagement de conformité MR-004).

Il n'y a pas de nécessité de solliciter un avis CPP dans le cadre des RNIPH.

Un avis éthique peut être demandé.

Le protocole du projet PSAAD a été soumis à la DRCI du CHUGA (Annexe 1).

Bien que l'ensemble du protocole ait été approuvé, il ne sera autorisé qu'après présentation de documents permettant de justifier de l'ensemble du financement de l'étude.

### **3. Recherche de financement**

#### **A. Recherche d'appel d'offre**

Nous avons tout d'abord recherché les différents appels d'offre, notamment par le biais de la ressource GIRCI (130) qui les répertorie, ou de AVIESAN (131).

Le premier critère de recherche concernait les spécialités impliquées, particulièrement la médecine légale, l'anatomopathologie puis a été élargi à d'autres disciplines indirectement impliquées comme la réanimation, car nous ne parvenions à trouver d'appels d'offres correspondant à notre projet.

Nous avons également cherché à différents niveaux géographiques : locaux, régionaux, nationaux.

Nous ne sommes pas parvenus à trouver d'appel d'offre correspondant à notre projet.

#### **B. Démarches effectuées auprès de l'appel d'offre interne**

Dans le cadre de la recherche de financement, nous avons répondu à l'appel d'offre interne 2021 du CHUGA.

Etant encore interne, je n'avais pas la possibilité de participer à cet appel en tant que « jeune chercheur ». Nous avons donc inscrit notre projet dans la catégorie RNIPH.

L'appel d'offre interne CHUGA 2021 a été annoncé début 2021 (Figure 75). Il fallait remplir une manifestation d'intérêt qui devait être envoyée avant fin février 2021 (Annexe 2). Une réunion avec des membres de la DRCI et des attachés de recherche était ensuite organisée pour établir un budget prévisible dans le courant du mois de mars. Le budget, une lettre de soutien du PU-PH concerné (le Pr Scolan) devaient être joints à une lettre d'intention (Annexe 3) et l'ensemble devait être envoyé avant fin mars. Le projet passait alors au crible d'un reviewing interne (intra-CHU). Seuls les projets sélectionnés allaient ensuite au reviewing externe (extra-CHU). Nous avons obtenu les notes A+, A- et B au reviewing interne, ce qui ne nous a permis d'aller au reviewing externe (Annexe 4).

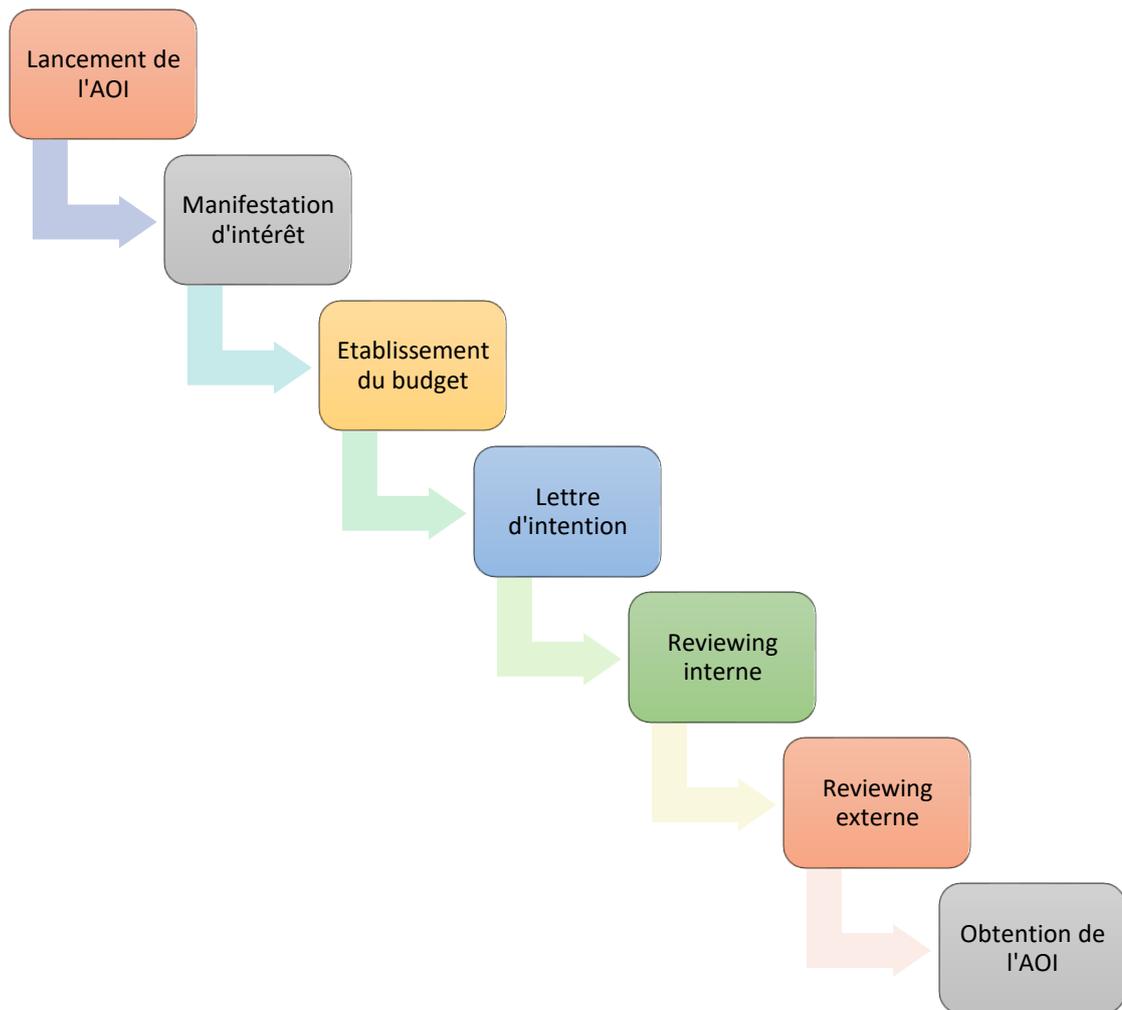


Figure 75. Déroulement de l'appel d'offre interne CHUGA 2021

## C. Autres recherches de financement

### a. Auprès des disciplines impliquées

Nous avons entamé une discussion avec les différentes spécialités impliquées pour obtenir le financement directement auprès des services concernés (exemple : financement de la biochimie par le service de biochimie). Mutualiser les dépenses était compliqué en l'absence d'une instance coordinatrice reconnue face à la multitude des acteurs susceptibles d'être impliqués. Cette mutualisation est d'autant plus compliquée qu'elle bénéficierait d'avoir une visibilité concrète sur le devenir du projet, or avant de pouvoir le débiter, il est nécessaire d'obtenir la totalité du financement.

b. Auprès des associations

Nous avons essayé de communiquer avec l'association ANENA pour obtenir sa collaboration au projet et recueillir d'éventuelles pistes de financement. Malgré de nombreux rendez-vous, nous n'avons pas reçu de réponse de leur part. Il s'agit d'une des principales associations concernant les victimes d'avalanche.

La Fondation Petzl pourrait également être contactée pour une demande de soutien financier.

c. Auprès des sociétés françaises

Une autre possibilité existe via les sociétés des différentes spécialités, notamment la société française de médecine légale (SFML), ou encore la société française d'anesthésie et de réanimation (SFAR).

En décembre 2021, la SFML met en œuvre le prix de la Fondation Charles Massias, d'une valeur de 20 000 euros.

d. Auprès de la justice

Dans le cadre du projet, une communication est prévue auprès de la justice (cadre médico-légal) (Annexe 5). Pour autant, nous n'avons pas considéré que demander à la justice de financer l'intégralité des examens réalisés (au-delà de l'acte autopsique) se justifiait.

A ce jour, nous n'avons pas trouvé de financement concernant notre projet.

## **4. Intérêts du projet**

Un projet français sur les victimes d'avalanche ne peut être réalisé qu'avec la participation de Grenoble. Les soignants et médecins grenoblois sont les plus à même de pouvoir prendre une position d'expertise sur cette problématique.

Au-delà de cet intérêt local, ce projet est ambitieux pour plusieurs raisons :

- les recherches prospectives sont toujours plus rares, car plus complexes que les recherches rétrospectives, particulièrement en médecine légale thanatologique ;

- la réalisation d'une collaboration multidisciplinaire impliquant de nombreux acteurs, de nombreuses disciplines, et nécessitant des ressources humaines, financières et matérielles importantes ;
- la réalisation d'analyses biochimiques chez les victimes décédées dans des accidents d'avalanche, ce qui n'a pas encore été réalisé à notre connaissance ce jour.

## **5. Difficultés de réalisation**

Le service de médecine légale occupe une place particulière au sein du monde hospitalier du fait de sa double fonction, acteur du soin et auxiliaire de justice. La complexité de ce système dans la diversité de ses modes de fonctionnement, dans la multitude des acteurs impliqués, font qu'il est difficile, même pour des gens connaissant ces systèmes, de maîtriser les méthodologies et les aspects légaux à appliquer : appartenance du corps à la justice, recherche concernant le soin, etc.

Cette complexité peut se voir au travers des questionnements, notamment éthiques, développés par un des reviewers concernant la réalisation des autopsies médico-légales ; y transparaît la méconnaissance du parcours conduisant à une autopsie médico-légale. Cela peut aller jusqu'à la stigmatisation, au sein de la population et auprès de pairs, de la médecine légale, comme une spécialité qui s'intéresse à la mort plus qu'à la vie, alors que l'une ne va pas sans l'autre. L'acte autopsique est souvent déconsidéré, vu comme subalterne, voire comme barbare.

Sans rappeler ici l'histoire conduisant à l'autopsie moderne, l'apparition de nouvelles technologies permettant de voir l'intérieur du corps sans l'ouvrir a pu faire considérer qu'il n'était plus nécessaire d'ouvrir un corps, pour comprendre de quoi la personne était décédée. Pourtant, la médecine légale, comme les autres spécialités, voit sa pratique s'enrichir de ces nouvelles technologies, comme en témoigne notamment la pluridisciplinarité impliquée dans notre projet.

La place de notre projet dans la pratique du soin a pu être également mal appréhendée. De nombreuses études existent sur les victimes d'avalanche, mais apparaît l'opinion que seules des études sur le vivant permettent d'améliorer la prise en charge des vivants. Or, la médecine légale, en essayant de comprendre pourquoi et comment les victimes d'avalanche ont pu mourir, permet d'envisager un enrichissement de la prévention, des traitements médicaux, et des pronostics.

## IV. Conclusion

La montagne est un milieu à risque, et l'appréhension de ces dangers naturels est pratiquée quotidiennement par de nombreux amateurs ou professionnels des sports de montagne. Des accidents d'avalanche à l'origine de décès se produisent chaque année. Des secours avec des compétences spécifiques sont organisés pour permettre le sauvetage de ces accidentés, mais la conduite à tenir n'est pas toujours univoque.

Les études rétrospectives retrouvent l'asphyxie comme mode principal de décès (75%), suivie par les traumatismes (20%) et l'hypothermie. Ces résultats soulèvent plusieurs problématiques :

- l'asphyxie est un terme généraliste, comprenant de nombreuses situations différentes conduisant toutes à un défaut d'apport d'oxygène tissulaire ;
- les causes de décès dans ces accidents sont très probablement intriquées ;
- ces diagnostics restent encore difficiles à être obtenus avec certitude, surtout en présence de données parcellaires.

Une étude rétrospective menée à Grenoble a constaté la présence d'un œdème pulmonaire, qui peut entrer directement dans le mécanisme du décès ou être un phénomène agonique.

L'IML de Grenoble est le mieux placé géographiquement en France pour analyser les décès par avalanche. L'objectif de notre projet est de créer un protocole afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués, aux fins d'optimiser si possible la prise en charge thérapeutique au moment des secours.

Un protocole prospectif et multidisciplinaire a été établi sur la base d'un travail de recherche bibliographique important afin de collecter des données exhaustives.

Ce projet a été plus difficile à porter que nous le pensions. Tout d'abord, étant multidisciplinaire, il implique nécessairement de nombreux acteurs. La médecine légale est également apparue comme étant une discipline mal connue, et l'autopsie considérée comme un acte violent. Peu de financements ont été trouvés pour permettre la réalisation de ce projet. Une soumission à l'appel d'offre interne du CHUGA a été réalisée, mais notre projet n'a pas été retenu. Une soumission au prix de la Fondation Charles Massias, mis en œuvre par la SFML en décembre 2021, va être réalisée. Ce prix est de 20 000 euros.

L'obtention de ce prix nous permettrait de mettre en œuvre notre étude et de l'élargir à d'autres centres pouvant être intéressés par ce projet comme Nice, Marseille, Toulouse et ainsi d'inclure l'ensemble des autopsies de victimes d'avalanche du territoire français.

Aux fins d'optimiser encore notre étude, sa méthodologie, et d'augmenter sa qualité de preuve, nous travaillons sur la mise en place d'un groupe contrôle dans le cadre d'un master 2.

THÈSE SOUTENUE PAR : Lila KREBS-DROUOT

TITRE :

La médecine légale, une aide à la compréhension des mécanismes physiopathologiques des décès des personnes victimes d'avalanche

CONCLUSION :

La montagne est un milieu à risque, et l'appréhension de ces dangers naturels est pratiquée quotidiennement par de nombreux amateurs ou professionnels des sports de montagne. Des accidents d'avalanche à l'origine de décès se produisent chaque année. Des secours avec des compétences spécifiques sont organisés pour permettre le sauvetage de ces accidentés, mais la conduite à tenir n'est pas toujours univoque.

Les études rétrospectives retrouvent l'asphyxie comme mode principal de décès (75%), suivie par les traumatismes (20% et l'hypothermie. Plusieurs problématiques sont soulevées par ces résultats :

- L'asphyxie est un terme généraliste, comprenant de nombreuses situations différentes conduisant toutes à un défaut d'apport d'oxygène tissulaire ;
- Les causes de décès dans ces accidents sont très probablement intriquées ;
- Ces diagnostics restent encore difficiles à être obtenus avec certitude, surtout en présence de données parcellaires.

Une étude rétrospective menée à Grenoble a constaté la présence d'un oedème pulmonaire, qui peut entrer directement dans le mécanisme du décès ou être un phénomène agonique.

L'IML de Grenoble est le mieux placé géographiquement en France pour analyser les décès par avalanche. L'objectif de notre projet est de créer un protocole afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués, aux fins d'optimiser si possible la prise en charge thérapeutique au moment des secours.

Un protocole prospectif a été établi afin de collecter des données exhaustives, et multidisciplinaire, sur la base d'un travail de recherche bibliographique important.

Ce projet a été plus difficile à porter que nous le pensions. Tout d'abord, étant multidisciplinaire, il implique nécessairement de nombreux acteurs. La médecine légale est également apparue comme étant une discipline mal connue, et l'autopsie considérée comme un acte violent. Peu de financements ont été trouvés pour permettre la réalisation de ce projet. Une soumission à l'appel d'offre interne du CHUGA a été réalisée, mais notre projet n'a pas été retenu. Une soumission au prix de la Fondation Charles MAssias, mis en oeuvre par la SFML en décembre 2021, va être réalisée. Ce prix est de 20 000 euros.

L'obtention de ce prix nous permettrait de mettre en oeuvre notre étude et de l'élargir à d'autres centres pouvant être intéressés par ce projet comme Nive, Marseille, Toulouse et ainsi d'inclure l'ensemble des autopsies de victimes d'avalanche du territoire français.

Aux fins d'optimiser encore notre étude, sa méthodologie, et d'augmenter sa qualité de preuve, nous travaillons sur la mise en place d'un groupe contrôle dans le cadre d'un master 2.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le : 31/11/21

LE DOYEN DE L'UFR DE MÉDECINE

Le Doyen de l'UFR de Médecine

Pr. Patrice MORAND

Pr. Patrice MORAND



LE PRÉSIDENT DU JURY

Pr. Virginie SOCAR



Figure 76. Enrique Simonet (1866-1927), *Anatomie du coeur; Et elle avait un coeur! Autopsie*, 1890, huile sur toile, Musée de Malaga. (132)

# Annexes

## Annexe 1 : Protocole simplifié RNIPH du projet PSAAD de l'AOI CHUGA 2021

### PROTOCOLE SIMPLIFIE RECHERCHES N'IMPLIQUANT PAS LA PERSONNE HUMAINE

<b>TITRE</b>	A prospective study of avalanche fatalities: about asphyxia and death
<b>TITRE COURT</b>	PSAAD
<b>ORGANISME RESPONSABLE DU TRAITEMENT DE DONNEES</b>	CHU GRENOBLE ALPES LA TRONCHE 0476767575
<b>RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DE LA RECHERCHE</b>	Nom, Prénom et Fonction : François CHIRON, docteur en médecine <i>[Données à caractère personnel]</i>
<b>RESPONSABLE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA RECHERCHE (SI DIFFERENT)</b>	Nom, Prénom et Fonction : Lila KREBS, interne en médecine <i>[Données à caractère personnel]</i>
<b>CONTEXTE ET JUSTIFICATION DE LA RECHERCHE</b>	<p>Les causes de décès chez les victimes d'avalanche ont principalement été étudiées de manière rétrospective, retrouvant l'asphyxie comme mode de décès majoritaire (65 à 90% selon les données de la littérature), avant les traumatismes et l'hypothermie<sup>1</sup>.</p> <p>L'asphyxie est le mode de décès majoritaire, et l'étude de victimes en post-mortem retrouve un œdème pulmonaire<sup>2</sup>.</p> <p>Différentes hypothèses peuvent être évoqués concernant les mécanismes de l'asphyxie et de l'œdème pulmonaire : œdème à pression négative, œdème par obstruction des voies aériennes supérieures, œdème hémodynamique par un mécanisme similaire à celui de l'œdème pulmonaire d'immersion, cardiomyopathie de stress, ou encore inhalation de neige fondue à l'origine d'une noyade<sup>3</sup>.</p> <p>A notre connaissance, les modes de décès des victimes d'avalanche n'ont pas été étudiées dans un protocole prospectif, ce qui permettrait d'obtenir des données plus complètes, plus précises, et de différentes spécialités. En ayant des données de meilleure qualité, nous pourrions étudier les modes d'asphyxie des victimes d'avalanche et la physiopathologie de ces œdèmes pulmonaires ce qui pourrait aider à comprendre les mécanismes impliqués et poser la question d'une thérapeutique ciblée éventuelle.</p> <p>1. McIntosh SE et al. Cause of Death in Utah Avalanche Fatalities, 2006-2007 through 2017-2018 Winter Seasons. <i>Wilderness Environ Med.</i> 2019 Jun;30(2):191-194. doi: 10.1016/j.wem.2019.02.007. Epub 2019 Apr 17. PMID: 31005608.</p> <p>2. Cohen JG et al. Asphyxia after complete avalanche burial: A new paradigm. <i>Resuscitation.</i> 2017 Sep;118:e1-e2. doi: 10.1016/j.resuscitation.2017.07.015. Epub 2017 Jul 23. PMID: 28746828.</p> <p>3. Wilmshurst PT. Immersion pulmonary oedema: a cardiological perspective. <i>Diving Hyperb Med.</i> 2019 Mar 31;49(1):30-40. doi: 10.28920/dhm49.1.30-40. PMID: 30856665; PMCID: PMC6526048.</p>

<b>OBJECTIF PRINCIPAL</b>	Evaluer le taux de décès avec une participation cardiaque chez les victimes d'avalanche
<b>CRITERE DE JUGEMENT PRINCIPAL</b>	Biochimie avec troponine I et NT-pro-BNP
<b>OBJECTIFS SECONDAIRES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Détermination du mode de décès</li> <li>- Taux de décès avec des caractéristiques correspondant à une noyade</li> <li>- Taux de décès avec une part d'hypothermie</li> <li>- Taux de décès avec un œdème pulmonaire</li> <li>- Hypothèses physiopathologiques sur le mécanisme des œdèmes pulmonaires</li> <li>- Hypothèses physiopathologiques sur les modes de décès par asphyxie</li> </ul>
<b>CRITERE(S) DE JUGEMENT SECONDAIRE(S)</b>	<p>=&gt; Détermination du mode de décès selon les catégories suivantes : 1) asphyxie 2) traumatisme 3) hypothermie 4) causes intriquées</p> <p>=&gt; Taux de décès avec aspect de noyade à l'autopsie et œdème hydro-aérique à l'anatomopathologie</p> <p>=&gt; Taux de décès avec une part d'hypothermie : critères d'imagerie et catécholamines et dérivés urinaires</p> <p>=&gt; Nombre de victimes ayant un œdème pulmonaire et caractéristiques de cet œdème pulmonaire dans les différentes disciplines</p> <p>=&gt; Si présence d'un œdème pulmonaire : dégagement d'hypothèses physiopathologiques avec l'ensemble des données</p> <p>=&gt; Si asphyxie : dégagement d'hypothèses physiopathologiques avec l'ensemble des données</p>
<b>METHODOLOGIE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recherche n'impliquant pas la personne humaine</li> <li>- Prospective</li> <li>- Descriptive</li> <li>- Monocentrique</li> </ul>
<b>NATURE DES DONNEES</b>	Données autopsiques, d'imagerie, d'anatomopathologie, de toxicologie / biochimie
<b>SOURCES DE DONNEES UTILISEES (CHOIX MULTIPLES)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Dossiers médicaux <input type="checkbox"/> Enquête / Cohorte / Registre n'incluant pas des données du SNDS <input type="checkbox"/> Autres données
<b>CALENDRIER DE RECUEIL DES DONNEES</b>	<p><b>Si recherche prospective :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Durée de la période d'inclusion (date prévisionnelle de début et de fin) : mars 2021 à mai 2025</li> <li>- Durée prévue du contrôle des données et analyse statistique : 6 mois</li> <li>- Durée totale de la recherche : 5 ans</li> </ul>
<b>COLLECTE DES DONNEES</b>	<p>La collecte des données cliniques reposera sur une base de données clinique conforme aux données présentes dans les documents sources. Il est procédé à la vérification préalable dans le dossier médical de la « non-opposition » du patient à l'utilisation de ses données de santé pour la recherche.</p> <p>Les données seront obtenues par la réalisation d'une autopsie et d'examen complémentaires, en empruntant le même « circuit » que les autopsies médico-légales habituelles. Les résultats de ces examens complémentaires seront intégrés au dossier médical.</p> <p>Les résultats seront collectés par Lila KREBS au sein d'un document pseudonymisés (par ordre d'inclusion et 2 lettres correspondant aux initiales) conservé au sein du réseau protégé du CHUGA.</p>

	<p><b>Conservation :</b> Indiquer le lieu de conservation du document établissant la correspondance entre le code du sujet et son identité :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Serveur du service (informatique) <input type="checkbox"/> Classeur de l'étude (papier)</p>
<b>DUREE DE CONSERVATION DES DONNEES</b>	<p>Les données à caractère personnel relatives aux personnes se prêtant à une recherche, et traitées à cette fin, peuvent être conservées dans les systèmes d'information du responsable de traitement, du centre participant ou du professionnel de santé intervenant dans la recherche au maximum deux ans après la dernière publication des résultats de la recherche ou, en cas d'absence de publication, jusqu'à la signature du rapport final de la recherche.</p> <p>Les données à caractère personnel des professionnels intervenant dans la recherche ne peuvent être conservées au-delà d'un délai de quinze ans après la fin de la dernière recherche à laquelle ils ont participé.</p> <p>Elles font ensuite l'objet d'un archivage sur support papier ou informatique pour une durée conforme à la réglementation en vigueur. Les données doivent ensuite être effacées.</p>
<b>DESCRIPTIF DE L'ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES ET/OU REFERENCES DU BIostatisticien RESPONSABLE</b>	<p><b>NOMBRE DE SUJETS A INCLURE</b> NSN 38 avec une précision de 10% et une proportion attendue de 50%</p> <p><b>ANALYSE DE DONNEES</b> La base de données sera stockée conformément à l'engagement investigateur signé.</p> <p>Statistiques descriptives pour l'ensemble des variables Réalisation de tests statistiques classiques adaptés aux variables.</p>
<b>PERSONNES INCLUSES DANS LA RECHERCHE</b>	<p>Nombre de sujets : NSN 38</p> <p>Critères d'inclusion : toute victime d'avalanche autopsiée à l'institut médico-légal de Grenoble</p> <p>Critères de non-inclusion : sujet s'étant opposé de son vivant à l'utilisation de ses données dans le cadre de la recherche</p>
<b>RETOMBEEES ATTENDUES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyse des étiologies des décès des victimes d'avalanche</li> <li>- Précision sur les modes d'asphyxie et hypothèses physiopathologiques de l'œdème pulmonaire chez la victime d'avalanche n'ayant pas survécu</li> <li>- Questionnement sur l'impact thérapeutique éventuel chez la victime d'avalanche avec ACR</li> </ul>

**FLOW CHART :**

Début de la recherche en mars 2021

Pour chaque sujet :

**1. Fiche renseignant les caractéristiques de l'accident d'avalanche ayant eu lieu :**

- a. Ensevelissement partiel ou complet
- b. Temps d'ensevelissement
- c. Réalisation d'une réanimation cardiopulmonaire
- d. Présence d'une poche d'air
- e. Température initiale
- f. Caractéristique de la neige
- g. Présence d'un dispositif de secours

**2. Réalisation d'une autopsie médico-légale avec établissement d'un rapport d'autopsie comprenant des données macroscopiques :**

- a. Temps écoulé entre l'accident et l'autopsie
- b. Couleur des lividités
- c. Présence d'un « érythème de gel »
- d. Présence de tâches de Wischnewski
- e. Hémorragie muscle psoas

- f. Lésions traumatiques d'organes
- g. Lésions traumatiques osseuses
- h. Mousse dans les voies aériennes
- i. Poids poumons
- j. Présence ou non d'un œdème pulmonaire
- k. Présence ou non d'une congestion pulmonaire

**3. Collecte de données des examens complémentaires à l'autopsie :**

- a. Imagerie avec réalisation d'un body-TDM :
  - i. Lésions traumatiques d'organes
  - ii. Lésions traumatiques osseuses
  - iii. No increase in lung field concentration, blood blotting in the heart, thoracic aorta or pulmonary artery, urine retention in the bladder
  - iv. Présence ou non d'un œdème pulmonaire
- b. Anatomopathologie avec prélèvement poumons, reins, cœur, pancréas :
  - i. Présence d'hémorragie intra-alvéolaire
  - ii. Présence ou non d'un œdème pulmonaire
  - iii. Caractérisation de l'œdème pulmonaire : séro-hématique ou hydro-aérique
  - iv. Présence d'une vacuolisation du pôle basal des cellules rénales
  - v. Etat de conservation du pancréas
  - vi. Etat antérieur cardiaque
  - vii. Etat aigu cardiaque
- c. Toxicologie / Biochimie :
  - i. Dosage de troponine, et de NT-pro-BNP sur liquide péricardique et sur sang périphérique
  - ii. Catécholamines (adrénaline) et dérivés O-méthoxylés (méthanéprine) urinaires

**ANNEXE DE BIOLOGIE :**

- Fichier Excel du recueil de données. (Fichier excel joint)
- Circuit des échantillons issus du corps humain (EICH) - Biologie

EICH concerné	Origine	Pré-analytique standard	Transfert	Réalisation des analyses	Devenir
Sang périphérique	Prélèvement autopsique	Prélèvement sur tube hépariné sans gel (bouchon vert foncé). Centrifugation 10 min à 2500 G à 20°C.	Dépôt en main propre au Laboratoire de Biochimie Immunoanalyse, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	Troponine I (ng/L)  Service de Biochimie ImmunoAnalyse, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction
Sang périphérique	Prélèvement autopsique	Prélèvement sur tube hépariné sans gel (bouchon vert foncé). Centrifugation 10 min à 2500 G à 20°C.	Dépôt en main propre Unité Biochimie Immunoanalyse, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	NT-Pro-BNP (ng/L)  Service de Biochimie ImmunoAnalyse, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction
Liquide péricardique	Prélèvement autopsique	Prélèvement tube bouchon rouge.	Dépôt en main propre Unité Biochimie Immunoanalyse,, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	Troponine I (ng/L)  Service de Biochimie ImmunoAnalyse, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction
Liquide péricardique	Prélèvement autopsique	Prélèvement sur tube bouchon rouge de 40 mL.	Dépôt en main propre à l'unité Biochimie Immunoanalyse, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	NT-Pro-BNP (ng/L)  Service de Biochimie ImmunoAnalyse, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction

Liquide péricardique	Prélèvement autopsique	Prélèvement sur tube bouchon rouge	Dépôt en main propre l'unité Biochimie Immunoanalyse, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	Protéines totales de liquide de ponction (g/L) Service de Biochimie ImmunoAnalyse, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction
Urines	Prélèvement autopsique	Prélèvement sur flacon bouchon rouge de 40 mL, acidifié au préalable par 10 µL d'acide acétique pur, de façon extemporanée.	Dépôt en main propre service de biochimie, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	Catécholamines urinaires. Service de Biochimie Hormonale et Nutritionnelle, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction
Urines	Prélèvement autopsique	Prélèvement sur flacon bouchon rouge de 40 mL, acidifié au préalable par 10 µL d'acide acétique pur, de façon extemporanée.	Dépôt en main propre au service de Biochimie, Institut de Biologie et de Pathologie, CHU Grenoble Alpes	Dérivés O-métoxylés urinaires. Service de Biochimie Hormonale et Nutritionnelle, IBP, CHU Grenoble Alpes.	Destruction

- Circuit des échantillons issus du corps humain (EICH) - Anatomopathologie

EICH concerné	Origine	Pré-analytique standard	Transfert	Réalisation des analyses	Devenir
Prélèvement d'un fragment de chaque lobe pulmonaire	Prélèvement autopsique	Prélèvement placé dans un pot à bouchon rouge rempli de formol	Dépôt en main propre au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Analyse anatomopathologique au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Stockage des lames d'histologie et des blocs de paraffine au CHU Grenoble Alpes
Prélèvement d'un fragment de chaque rein	Prélèvement autopsique	Prélèvement placé dans un pot à bouchon rouge rempli de formol	Dépôt en main propre au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Analyse anatomopathologique au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Stockage des lames d'histologie et des blocs de paraffine au CHU Grenoble Alpes
Prélèvement d'un fragment de pancréas	Prélèvement autopsique	Prélèvement placé dans un pot à bouchon rouge rempli de formol	Dépôt en main propre au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Analyse anatomopathologique au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Stockage des lames d'histologie et des blocs de paraffine au CHU Grenoble Alpes
Prélèvement d'un fragment de coeur	Prélèvement autopsique	Prélèvement placé dans un pot à bouchon rouge rempli de formol	Dépôt en main propre au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Analyse anatomopathologique au service d'Anatomopathologie, CHU Grenoble Alpes	Stockage des lames d'histologie et des blocs de paraffine au CHU Grenoble Alpes

## Annexe 2 : Manifestation d'intérêt du projet PSAAD à l'AOI 2021

### MANIFESTATION D'INTÉRÊT

#### VOLET DE L'APPEL D'OFFRE SOUHAITE :

- Recherche impliquant la Personne Humaine
- Projet Phare
- Recherche Paramédicale et maïeutique
- Recherche n'impliquant pas la personne humaine
- Jeunes Chercheurs

#### INFORMATIONS GENERALES

**Titre du projet \***: A prospective study of avalanche fatalities : about asphyxia and death

**Acronyme** : PSAAD

#### **Coordonnées de l'investigateur-coordonateur :**

Nom et prénom \* : François CHIRON

*[Données à caractère personnel]*

Spécialité : Médecine légale

**Médecin, Chirurgien-Dentiste / Biologiste/Maïeutique / Infirmière / autres Paramédicaux**

Préciser \* : Médecin

**Domaine de Recherche** (du coordinateur)

*Mots clés : Médecine légale, thanatologie*

**Nom et coordonnées du méthodologiste :**

Nom et prénom :

Tel :

Email :

**Le projet s'inscrit dans un des 5 axes de recherche du CHU Grenoble Alpes \*?**

Oui

Non

*Si oui, lequel : RNIPH*

## PROJET DE RECHERCHE

### Rationnel (contexte et hypothèses)

Les avalanches sont à l'origine d'accidents, parfois mortel, chaque année. La France était sur la période 1983-2015, le pays comptant le plus grand nombre d'accidents mortels d'avalanche parmi les pays occidentaux (d'après l'ICAR). Notre institut médico-légal est particulièrement concerné par cette problématique. En effet, sur les 13 personnes décédées en France en 2019, il y en avait 4 en Savoie, 3 en Haute-Savoie, 2 en Isère, et 1 dans les Hautes-Alpes.

Les causes de décès chez les victimes d'avalanche ont principalement été étudiées de manière rétrospective, retrouvant l'asphyxie comme mode de décès majoritaire avant les traumatismes et l'hypothermie. L'étude de victimes en post-mortem retrouve un œdème pulmonaire.

Dans le cas des avalanches, l'asphyxie pourrait provenir de mécanismes divers : noyade par inhalation de neige, obstruction des voies aériennes par la neige, compression thoracique par la masse de neige empêchant la réalisation des mouvements respiratoires, pression partielle en oxygène diminuée dans l'environnement, choc cardiogénique par un mécanisme ischémique type Tako-Tsubo, ou hémodynamique par hypertension artérielle pulmonaire sur l'hypoxie et l'hypercapnie, œdème pulmonaire par un mécanisme similaire à celui retrouvé dans les immersions en eau froide, syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA).

Au-delà du diagnostic étiologique du décès, important pour la famille de la victime et pour les secours (la victime aurait-elle pu être sauvée ?), il serait important de comprendre les mécanismes impliqués de manière plus précise. Certaines victimes retrouvées rapidement sont déjà en ACR en l'absence de traumatisme grave et en l'absence d'hypothermie. Le mécanisme de ces décès pourrait être d'origine cardiaque. Pour comprendre ces mécanismes, il faudrait analyser l'origine de l'asphyxie et de l'œdème pulmonaire.

### Originalité et Caractère Innovant

A notre connaissance, les modes de décès des victimes d'avalanche n'ont pas été étudiés dans un protocole prospectif, ce qui permettrait d'obtenir des données plus complètes, plus précises.

Ce protocole a été mis en place avec la collaboration de différentes spécialités, la médecine légale, mais aussi l'imagerie, l'anatomopathologie, et la biochimie, avec certaines techniques qui n'ont pas été réalisées dans une étude sur les victimes d'avalanche.

En ayant des données de meilleure qualité, nous pourrions étudier les modes d'asphyxie des victimes d'avalanche et la physiopathologie de ces œdèmes pulmonaires ce qui pourrait aider à comprendre les mécanismes impliqués et poser la question d'une thérapeutique ciblée éventuelle.

### Objet de la Recherche

Recherche impliquant la personne Humaine :

Type 1

Si oui : Médicaments  Dispositifs médicaux  Hors Produit Santé

Type 2

Type 3

Incluant (plusieurs choix possibles) : Cohorte  Collection

Recherche n'impliquant pas la personne humaine (plusieurs choix possibles):

Recherche sur données

Cohorte

Collections existantes

### Mots Clés (du projet) [5 max]

Autopsie, avalanche, réanimation, biochimie

## Objectif Principal

Evaluer le taux de décès avec une participation cardiaque chez les victimes d'avalanche

Cocher (1 choix parmi les 8 propositions):

Description d'hypothèses

Cocher (1 choix parmi les 11 propositions) :

Etiologie

## Critère d'évaluation principal (en lien avec l'objectif principal)

Biochimie avec troponine I et NT-pro-BNP sur liquide péricardique et sang veineux iliaque

## Objectifs Secondaires

1. Détermination du mode de décès
2. Taux de décès avec des caractéristiques correspondant à une noyade
3. Taux de décès avec une part d'hypothermie
4. Taux de décès avec un œdème pulmonaire
5. Hypothèses physiopathologiques des décès par asphyxie et le mécanisme des œdèmes pulmonaires

## Critères d'évaluation secondaires (en lien avec les objectifs secondaires)

1. Détermination du mode de décès selon les catégories suivantes : 1) asphyxie 2) traumatisme 3) hypothermie 4) causes intriquées
2. Taux de décès avec aspect de noyade à l'autopsie et œdème hydro-aérique à l'anatomopathologie
3. Taux de décès avec une part d'hypothermie : critères d'imagerie et catécholamines et dérivés urinaires
4. Nombre de victimes ayant un œdème pulmonaire et caractéristiques de cet œdème pulmonaire dans les différentes disciplines
5. Dégagement d'hypothèses physiopathologiques

## Population d'étude

*Principaux critères d'inclusion* : : toute victime d'avalanche autopsiée à l'institut médico-légal de Grenoble

*Principaux critères de non-inclusion* : sujet s'étant opposé de son vivant à l'utilisation de ses données dans le cadre de la recherche

## Plan expérimental

*Cocher (1 seul choix) :*

Etude de cohorte prospective

*Préciser le plan expérimental (flow-chart de l'étude) :*

Pour chaque sujet :

1. Fiche renseignant les caractéristiques de l'accident d'avalanche ayant eu lieu :
  - a. Ensevelissement partiel ou complet
  - b. Temps d'ensevelissement
  - c. Réalisation d'une réanimation cardiopulmonaire
  - d. Présence d'une poche d'air
  - e. Température initiale
  - f. Caractéristique de la neige
  - g. Présence d'un dispositif de secours
2. Réalisation d'une autopsie médico-légale avec établissement d'un rapport d'autopsie comprenant des données macroscopiques :
  - a. Temps écoulé entre l'accident et l'autopsie
  - b. Couleur des lividités
  - c. Présence d'un « érythème de gel »
  - d. Présence de tâches de Wischnewski
  - e. Hémorragie muscle psoas

- f. Lésions traumatiques d'organes
  - g. Lésions traumatiques osseuses
  - h. Mousse dans les voies aériennes
  - i. Poids poumons
  - j. Présence ou non d'un œdème pulmonaire
  - k. Présence ou non d'une congestion pulmonaire
3. Collecte de données des examens complémentaires à l'autopsie :
- a. Imagerie avec réalisation d'un body-TDM :
    - i. Lésions traumatiques d'organes
    - ii. Lésions traumatiques osseuses
    - iii. No increase in lung field concentration, blood blotting in the heart, thoracic aorta or pulmonary artery, urine retention in the bladder
    - iv. Présence ou non d'un œdème pulmonaire
  - b. Anatomopathologie avec prélèvement poumons et reins :
    - i. Présence d'hémorragie intra-alvéolaire
    - ii. Présence ou non d'un œdème pulmonaire
    - iii. Caractérisation de l'œdème pulmonaire : séro-hématique ou hydro-aérique
    - iv. Présence d'une vacuolisation du pôle basal des cellules rénales
    - v. Etat de conservation du pancréas
  - c. Toxicologie / Biochimie :
    - i. Dosage de troponine, et de NT-pro-BNP sur liquide péricardique et sur sang périphérique
    - ii. Catécholamines (adrénaline) et dérivés O-méthoxylés (méthanéphrine) urinaires

**Nombre prévisionnel de centres d'inclusion (NC) : 1**

**Durée de la participation de chaque patient :** Durée de l'autopsie + analyses complémentaires

**Durée prévisionnelle de Recrutement :** plusieurs saisons de sport d'hiver

**Durée prévisionnelle de l'étude :** entre 2 et 5 ans

**Nombre de patients / observations prévu(e)s à recruter :** au moins une dizaine

**Nombre de patients / observations à recruter / mois / centre :** variable selon les mois, 1/mois en moyenne durant la saison des sports d'hiver

**Participation d'un réseau de recherche**

Oui       Non

**Participation de partenaires industriels**

Oui       Non

# Annexe 3 : Lettre d'intention du projet PSAAD à l'AOI CHUGA 2021

## DOSSIER DE CANDIDATURE LETTRE D'INTENTION

### VOLET DE L'APPEL D'OFFRE CONCERNE :

- Recherche impliquant la Personne Humaine
- Projet Phare
- Recherche Paramédicale et Maïeutique
- Recherche n'impliquant pas la personne humaine
- Jeunes Chercheurs

Votre demande est à transmettre au plus tard **le 29 Mars 2021 à 17h00** en version électronique à [AccueilRecherche@chu-grenoble.fr](mailto:AccueilRecherche@chu-grenoble.fr)

**IMPORTANT** : Toute lettre d'intention incomplète ou soumise après cette date sera considérée comme **non recevable**.

Contenu du dossier phase I :

- Lettre d'Intention en format **Word**
- Budget format **PDF** établi et validé par la cellule accueil de la DRCI y compris devis des structures d'appui à la recherche, achat de matériel/consommables/traitements, prestation ou sous-traitance, si applicable.
- Lettre de soutien du chef de service (courrier signé)
- Justificatif de cofinancement pour les projets disposant d'un cofinancement.

### INFORMATIONS GENERALES

**Titre du projet** : A prospective study of avalanche fatalities : about asphyxia and death

**Acronyme** : PSAAD

**Coordonnées de l'investigateur-coordonateur** :

Nom et prénom \* : François CHIRON  
*[Données à caractère personnel]*

Spécialité : Médecine légale

**Avez-vous informé votre chef de pôle de la soumission de ce projet à l'AO interne du CHUGA**

Oui       Non

**Médecin, Chirurgien-Dentiste / Biologiste/Maïeutique / Infirmière / autres Paramédicaux**

Préciser : Médecin

**Domaine de Recherche** (du coordinateur)

Mots clés : Médecine légale, thanatologie

Si oncologie, organe, localisation tumorale :

**Le projet s'inscrit dans un des 5 axes de recherche du CHU Grenoble Alpes ?**

Oui Non

Si oui, lequel :

- Cancer et épigénétique
- Génomique et Procréation
- Maladies chroniques et trajectoires de santé
- Neurosciences et cognition
- Technologies de la santé

**Nom et coordonnées du méthodologiste :**

Nom et prénom : Bellier Alexandre

[Données à caractère personnel]

**Nombre prévisionnel de centres d'inclusion : 1**

**PROJET DE RECHERCHE**

**Rationnel (contexte et hypothèses)**

Les avalanches sont à l'origine d'accidents, parfois mortel, chaque année. La France était sur la période 1983-2015, le pays comptant le plus grand nombre d'accidents mortels d'avalanche parmi les pays occidentaux (d'après l'ICAR). Notre institut médico-légal est particulièrement concerné par cette problématique. En effet, sur les 13 personnes décédées en France en 2019, il y en avait 77% au sein de notre zone géographique (4 en Savoie, 3 en Haute-Savoie, 2 en Isère, et 1 dans les Hautes-Alpes).

Les causes de décès chez les victimes d'avalanche ont principalement été étudiées de manière rétrospective, retrouvant l'asphyxie comme mode de décès majoritaire (jusqu'à 80%), avant les traumatismes et l'hypothermie. L'étude de victimes en post-mortem retrouve un œdème pulmonaire, diagnostic plus rare chez les victimes d'avalanche retrouvées en vie. Les mécanismes impliqués restent un diagnostic médico-légal compliqué.

Dans le cas des avalanches, l'asphyxie pourrait provenir de mécanismes divers : noyade par inhalation de neige, obstruction des voies aériennes par la neige, compression thoracique par la masse de neige empêchant la réalisation des mouvements respiratoires, pression partielle en oxygène diminuée dans l'environnement, choc cardiogénique (mécanisme ischémique type Tako-Tsubo), ou hémodynamique par hypertension artérielle pulmonaire sur l'hypoxie et l'hypercapnie, œdème pulmonaire (mécanisme similaire à celui retrouvé dans les immersions en eau froide), syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA).

La compréhension des mécanismes impliqués permettrait le diagnostic étiologique du décès, important pour la famille de la victime, mais également pour les secours. En effet, les critères à appliquer pour connaître le pronostic des victimes comporte encore des inconnues et la conduite à tenir concernant la réanimation n'est pas toujours univoque. De plus cela permet de donner des pistes de prévention pour limiter les décès lors des accidents.

Les deux mécanismes prédominants des œdèmes pulmonaires sont hémodynamiques (=cardiogéniques), et lésionnels. En considérant que l'œdème pulmonaire est un événement pré-mortem déterminant dans le décès des victimes d'avalanche, il faut comprendre son mécanisme, et évaluer la part cardiaque de ces œdèmes. Il est également probable qu'il y ait une intrication des différentes étiologies de décès (traumatisme, hypothermie...). Pour les comprendre, il faudrait collecter des données permettant de les analyser en profondeur.

## Originalité et Caractère Innovant

A notre connaissance, les modes de décès des victimes d'avalanche n'ont pas été étudiées dans un protocole prospectif, permettant d'obtenir des données complètes pour déterminer l'étiologie des décès.

Une première étude rétrospective sur les modes de décès avait été réalisée en 2017 sur les victimes d'avalanche à Grenoble. C'était le premier travail français sur les victimes d'avalanche décédées ayant bénéficié d'une exploration médico-légale dans le but de déterminer les mécanismes de décès. Le CHU de Grenoble, du fait de son rapport avec les montagnes alpines est un territoire français privilégié pour l'étude des victimes d'avalanche. L'institut médico-légal de Grenoble est de ce fait le plus à même d'avoir une position d'expertise sur ce sujet.

Ce protocole a été mis en place avec la collaboration de différentes spécialités, la médecine légale, mais aussi l'imagerie, l'anatomopathologie, et la biochimie, avec certaines techniques qui n'ont encore jamais été réalisées dans une étude sur les victimes d'avalanche. Une discussion a également eu lieu avec la réanimation et les secours en montagne.

## Objet de la Recherche

Recherche n'impliquant pas la personne humaine (plusieurs choix possibles) :

Cohorte

## Mots Clés (du projet) [5 max]

Autopsie, avalanche, réanimation, biochimie, anatomopathologie

## Objectif Principal

Evaluer le taux de décès avec une participation cardiaque chez les victimes d'avalanche

Cocher (1 choix parmi les 8 propositions):

Description d'hypothèses

Cocher (1 choix parmi les 11 propositions) :

Etiologie

## Critère d'évaluation principal (en lien avec l'objectif principal)

Mesure de la troponine I et BNP sur liquide péricardique et sang veineux iliaque

## Objectifs Secondaires

1. Détermination du mode de décès selon les catégories suivantes : 1) asphyxie 2) traumatisme 3) hypothermie 4) causes intriquées
2. Détermination de caractéristiques correspondant à une noyade
3. Détermination de décès avec une part d'hypothermie
4. Détermination de décès avec un œdème pulmonaire
5. Dégagement d'hypothèses physiopathologiques concernant les décès par asphyxie

## Critères d'évaluation secondaires (en lien avec les objectifs secondaires)

1. Détermination du mode de décès : présence d'un traumatisme immédiatement mortel, présence d'arguments contextuels/autopsie/imagerie/anatomopathologie/biochimie en faveur d'une asphyxie isolée, d'une hypothermie isolée, ou association d'arguments
2. Présence d'un aspect de noyade à l'autopsie et présence d'un œdème hydro-aérique à l'anatomopathologie
3. Critères d'autopsie, d'imagerie (pas d'augmentation de la concentration des champs pulmonaires, caillot intra-cardiaque, aorte thoracique ou artère pulmonaire ou rétention urinaire) et de biochimie (mesure des catécholamines et dérivés urinaires)
4. Présence d'un œdème pulmonaire à l'autopsie, en imagerie et/ou en anatomopathologie
5. Hypothèses physiopathologiques des décès par asphyxie et le mécanisme des œdèmes pulmonaires
- 6.

## **Population d'étude**

*Principaux critères d'inclusion :*

Age supérieur ou égal à 18 ans

Victime d'avalanche autopsiée à l'institut médico-légal de Grenoble

*Principaux critères de non-inclusion :* sujet s'étant opposé de son vivant à l'utilisation de ses données dans le cadre de la recherche

## **Plan expérimental**

*Cocher (1 seul choix) :*

*Etude de cohorte prospective*

*Préciser le plan expérimental (flow-chart de l'étude):*

## **Déroulement d'une inclusion :**

Appel des secours sur une victime d'avalanche avec réalisation d'une réanimation ou décès déclaré sur les lieux

Obstacle médico-légal coché sur le certificat de décès

Autopsie médico-légale décidée par le parquet correspondant

Institut médico-légal de Grenoble informé de la réalisation d'une autopsie médico-légale d'une victime d'avalanche

Appel de Lila KREBS par la secrétaire ou le légiste d'astreinte recevant l'information

Lila KREBS vérifiera dans le dossier qu'il n'y a pas d'opposition à l'utilisation des données dans le dossier médical

Si absence d'opposition => INCLUSION : Lila KREBS informera à son tour les différentes disciplines => protocole pré-établi avec la biochimie, information auprès des radiologues pour obtenir date et horaire du scanner, mail au Pr Peoc'h (anatomopathologiste)

Ensuite :

- Réalisation d'un scanner pré-autopsie, transport du corps par les pompes funèbres du scanner à la salle d'autopsie
- Collecte des renseignements des caractéristiques de l'accident d'avalanche auprès des OPJ présents à l'autopsie et des secours
- Réalisation de l'autopsie avec réalisation des différents prélèvements : anatomopathologie, biochimie
- Transport des prélèvements aux services concernés du CHUGA (par Lila KREBS ou par un médecin légiste ayant réalisé l'autopsie)

Il est important de noter que l'autopsie se déroule en général dans les 48h de la demande d'autopsie, en dehors du week-end (autopsie le lundi suivant).

Concernant les différents éléments analysés :

- Réalisation d'un rapport d'autopsie par les médecins légistes responsables (délais du service)
- Analyse du scanner post-mortem par les Pr Ferreti ou Dr Reymond (délais du service)
- Analyse de biochimie dans le service du Dr Guergour avec obtention de résultats chiffrés (délais du service)
- Examen anatomopathologique après fixation dans le formol (au moins 1 semaine) et interprétation des lames par le Pr Peoc'h qui établira un rapport d'anatomopathologie (délais du service)

Toutes les données seront collectées ensuite par Lila KREBS. Elles seront analysées ensuite par les médecins légistes, avec discussion au besoin avec les disciplines concernées (biochimie, imagerie, anatomopathologie, secours et réanimation).

## **Durée de la participation de chaque patient :**

Réalisation autopsie et des examens complémentaires soit : déclaration du décès, scanner pré-autopsie et autopsie dans les jours qui suivent (lendemain ou surlendemain de la demande, sauf week-end où réalisation de l'autopsie le lundi qui suit), analyses de biochimie (quelques jours) et analyse d'anatomopathologie (quelques semaines)

**Durée prévisionnelle de Recrutement :** plusieurs saisons de sport d'hiver

**Durée prévisionnelle de l'étude :** entre 2 et 5 ans

**Nombre de patients / observations prévu(e)s à recruter :** 38

Justification de la taille *de l'échantillon* :

Calcul du nombre de sujets nécessaires :

Proportion attendue dans la population 0.5 soit 50%

- Choix de la proportion attendue effectuée comme suit : 3/4 d'asphyxie parmi les victimes d'avalanche en moyenne retrouvé dans la littérature, chiffre cohérent avec l'étude rétrospective menée à Grenoble(60–64). Parmi ceux-ci, pas de chiffres sur les décès d'origine cardiaque dans la littérature. D'après les hypothèses physiopathologiques évoquées plus haut, il apparaît raisonnable de retrouver 2/3 de mécanisme cardiaque parmi les victimes asphyxiées. Soit  $\frac{3}{4} * \frac{2}{3} = \frac{1}{2}$

Précision 0.1 soit 10%

Risque alpha 5%

Soit un NSN à 38

**Nombre de patients / observations à recruter / mois / centre :** variable selon les mois (1 à 2 autopsies/mois pendant la saison des sports d'hiver)

En effet, entre 10 et 20 décès par avalanche / an, part autopsiée variable parmi eux. Une sensibilisation sera faite auprès des secours et des magistrats à propos de la réalisation de cette étude.

**Participation d'un réseau de recherche**

Non

**Participation de partenaires industriels**

Non

**Autres éléments garantissant la faisabilité du projet**

De nombreuses discussions ont déjà été entamées auprès des différentes spécialités.

La position stratégique de l'IML de Grenoble pour cette étude la rend unique en France pour pouvoir analyser de manière prospective les victimes d'avalanche.

**Bénéfices attendus pour le patient et/ou pour la santé publique**

- Compréhension des mécanismes de décès et particulièrement d'asphyxie chez la victime d'avalanche
- Aide à la réflexion des secours devant une victime d'avalanche : amélioration de l'idée du pronostic d'une victime
- Questionnement concernant les possibilités de réanimation et la prévention des accidents en fonction des mécanismes impliqués
- Renforcement de la position d'expertise du CHUGA et de l'IML de Grenoble concernant les victimes d'avalanche

## FINANCEMENT

**Demande de financement dans le cadre d'une demande de co-financement ?**

Oui            Non

**Demande de financement dans le cadre d'un financement « amorce » ?**

Oui            Non

## BIBLIOGRAPHIE

*Merci de joindre 5 articles maximum justifiant l'intérêt du projet*

- Article d'épidémiologie sur les victimes d'avalanche
- Thèse du Dr D'Alnoncourt à Grenoble ayant conduit à un article sur les œdèmes pulmonaires chez les victimes d'avalanche
- Article concernant la biochimie en post-mortem
- Articles concernant l'imagerie en post-mortem

## PUBLICATIONS

*Merci de joindre les cinq dernières publications de l'équipe ou de l'investigateur.*

Ocfentanil, un nouveau produit de synthèse mortel découvert grâce à l'analyse d'une poudre - ScienceDirect [Internet]. [cité 27 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352007817300367#:~:text=Les%20r%C3%A9sultats%20sont%20en%20faveur,que%20le%20fentanyl%20%5B3%5D>.

Chiron F, Vergnault M, Martrille L, Savall F, Grenier F, Giordano A, et al. L'éloignement influence-t-il les demandes d'autopsies ? L'activité thanatologique dans 3 instituts médico-légaux en 2012 : analyse descriptive des conclusions d'autopsie. Rev Médecine Légale. 1 févr 2017;8(1):4-8.

Barret A, Eysseric H, Paysant F, Henry P, Allibe N, Grojean J, et al. Empoisonnements en série dans une EHPAD : intérêts des analyses toxicologiques, en particulier dans la moelle osseuse et les cheveux. Toxicol Anal Clin. 1 juin 2018;30(2, Supplement):S20-1.

Allibe N, Paysant F, Willeman T, Stanke-Labesque F, Scolan V, Eysseric H. Même sur cheveux décolorés ou prélevés tardivement, l'analyse toxicologique capillaire peut être utile ! Toxicol Anal Clin. 1 déc 2020;32(4, Supplement):S48-9.

Comment harmoniser les statistiques en thanatologie ? Un tour d'horizon des instituts médico-légaux français - ScienceDirect [Internet]. [cité 27 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878652914000856>

*Nous précisons ici que dans cette annexe la bibliographie a été sciemment retirée pour ne pas alourdir le document.*

# Annexe 4 : Résultats du projet PSAAD à l'AOI CHUGA 2021

**Appel d'offre Interne CHUGA 2021**  
**Grille de sélection des Lettres d'Intention**

LI n° 15

Investigateur : François CHIRON

Titre court : PSAAD - A prospective study of avalanche fatalities : about asphyxia and death

Discipline : Médecine légale

Reviewer 1.

	Cotation
<b>Originalité et impact</b>	
Le projet est original	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le rationnel est convaincant et l'hypothèse testée clairement présentée	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Les résultats annoncés du projet constitueront un apport scientifique ou un impact clinique direct	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Méthodologie</b>	
L'objectif principal et le choix du critère de jugement principal sont pertinents	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le calcul du nombre de sujets est justifié et cohérent	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Faisabilité</b>	
La prévalence de la maladie étudiée, la taille et la disponibilité de la population, l'activité des centres permettront la réalisation des inclusions attendues dans le temps prévu	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Il n'existe pas d'études concurrentielles	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le personnel dédié et la logistique proposée permettront l'inclusion et le suivi des patients, ainsi que le recueil l'analyse des données	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le financement demandé est adapté à la réalisation du projet	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Qualité rédactionnelle et présentation</b>	
Le document est clair, bien rédigé et suffisamment précis	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>

<b>Cotation globale :</b>	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
---------------------------	--

**Commentaire libre : chef de pôle : OK - Pluridisciplinaire – methodo : ok -** Étude descriptive (description d'hypothèses), pour la première fois, des modes de décès des victimes d'avalanche dans un protocole prospectif, en vue d'obtenir des données complètes pour déterminer l'étiologie des décès de victimes d'avalanche. Ce diagnostic étiologique est important pour la famille de la victime et pour les secours, avec des enjeux d'optimisation de la prise en charge des personnes en réanimation lors d'accident aiguë. Projet méthodologiquement bien construit, collaboratif avec l'ensemble des structures parti-prenants (au CHUGA mais également avec les secours en montagne), scientifiquement pertinent pour la discipline, avec l'établissement d'une nouvelle information a priori potentiellement pertinente dans l'optimisation de la prise en charge, ne réanimation, des patients pris dans une avalanche.

**Reviewer 2.**

	<b>Cotation</b>
<b>Originalité et impact</b>	
Le projet est original	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le rationnel est convaincant et l'hypothèse testée clairement présentée	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Les résultats annoncés du projet constitueront un apport scientifique ou un impact clinique direct	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Méthodologie</b>	
L'objectif principal et le choix du critère de jugement principal sont pertinents	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le calcul du nombre de sujets est justifié et cohérent	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Faisabilité</b>	
La prévalence de la maladie étudiée, la taille et la disponibilité de la population, l'activité des centres permettront la réalisation des inclusions attendues dans le temps prévu	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Il n'existe pas d'études concurrentielles	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le personnel dédié et la logistique proposée permettront l'inclusion et le suivi des patients, ainsi que le recueil l'analyse des données	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le financement demandé est adapté à la réalisation du projet	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Qualité rédactionnelle et présentation</b>	
Le document est clair, bien rédigé et suffisamment précis	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>

<b>Cotation globale :</b>	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
---------------------------	--

**Commentaire libre :**

Projet très original qui s'intéresse à une spécificité médicale du CHUGA et de sa région (avalanches). L'étude sera réalisée par une interne, il n'est pas prévu de temps ARC pour le recueil et le monitoring, le budget concerne essentiellement les frais de biologie et de radiologie. Les investigateurs n'ont pas d'activité de publication, il faudra s'assurer de leur capacité à valoriser les résultats de ces travaux.

### Reviewer 3.

	Cotation
<b>Originalité et impact</b>	
Le projet est original	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le rationnel est convaincant et l'hypothèse testée clairement présentée	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Les résultats annoncés du projet constitueront un apport scientifique ou un impact clinique direct	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Méthodologie</b>	
L'objectif principal et le choix du critère de jugement principal sont pertinents	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le calcul du nombre de sujets est justifié et cohérent	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Faisabilité</b>	
La prévalence de la maladie étudiée, la taille et la disponibilité de la population, l'activité des centres permettront la réalisation des inclusions attendues dans le temps prévu	A+ <input type="checkbox"/> A- <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Il n'existe pas d'études concurrentielles	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le personnel dédié et la logistique proposée permettront l'inclusion et le suivi des patients, ainsi que le recueil l'analyse des données	A+ <input checked="" type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Le financement demandé est adapté à la réalisation du projet	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
<b>Qualité rédactionnelle et présentation</b>	
Le document est clair, bien rédigé et suffisamment précis	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>

<b>Cotation globale :</b>	A+ <input type="checkbox"/> A- <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
---------------------------	--

#### Commentaire libre :

- Le rationnel ne permet pas de comprendre ce qui conduit à privilégier l'origine cardiaque du décès comme objectif principal.
- Le rationnel n'explique pas le ratio des décès par avalanche pour lesquels sont cochés un obstacle médico-légal et les raisons qui font choisir de pratiquer une autopsie. Ces raisons pourraient représenter un biais de sélection par rapport à l'ensemble des causes de décès par avalanche, incluant celles non autopsiées.
- Je pense que l'acquisition des données étant prospective, le protocole est de type Jarde 3 et implique la personne humaine.
- Le coût de l'imagerie par scanner est compté parmi les coûts de la recherche. Est-ce que cela ne fait pas partie du protocole d'autopsie « en soins courants » ?
- Dans le paragraphe « nombre de patients par centre », l'investigateur écrit « *En effet, entre 10 et 20 décès par avalanche / an(19), part autopsiée variable parmi eux. Une sensibilisation sera faite auprès des secours et des magistrats à propos de la réalisation de cette étude.* » Cette phrase laisse entendre que les investigateurs souhaitent influencer la décision d'obstacle médico-légal à des fins de recrutement pour la recherche. Cela paraît discutable sur le plan éthique.
- Références de l'équipe trop nombreuses par rapport à la consigne

## **Annexe 5 : Lettre au Procureur de la République**

**Monsieur le Procureur de la République**

Tribunal Judiciaire

Palais de Justice

Place Firmin Gautier

BP 130

38019 GRENOBLE Cedex 1

Copie : Monsieur le Procureur de la République TJ d'Annecy

Monsieur le Procureur de la République TJ de Bonneville

Monsieur le Procureur de la République TJ Albertville

Monsieur le Procureur de la République TJ Chambéry

Monsieur le Procureur de la République TJ Thonon les Bains

Monsieur le Procureur de la République TJ Valence

Monsieur le Procureur,

Notre institut médico-légal occupe en France une place privilégiée pour l'étude des victimes d'avalanche. Durant la saison 2018-2019, 52 accidents d'avalanche ont été recensés par l'ANENA. 9 personnes en sont décédées dont 5 en Savoie, 2 en Isère, 1 en Haute-Savoie et 1 en Hautes-Alpes

Des études ont déjà été réalisées de manière rétrospective pour analyser les modes de décès des victimes d'avalanche. Avec votre participation, une telle étude avait également pu avoir lieu dans notre institut médico-légal dans le cadre de la thèse du Dr D'Alnoncourt, qui confortait l'asphyxie comme mode de décès majoritaire (entre 60 et 90% selon les études).

A notre connaissance, aucune étude prospective n'a été réalisée chez les victimes d'avalanche afin de préciser davantage les mécanismes physiopathologiques impliqués dans ces décès.

Lila Krebs, interne en DES de Médecine légale à Grenoble, a travaillé avec d'autres médecins de diverses disciplines afin d'établir un protocole qui nous permettrait d'obtenir un ensemble de données prospectives pour établir le mode de décès, et également préciser l'étiologie de l'asphyxie et des œdèmes pulmonaires que nous retrouvons chez les victimes d'avalanche. La mise en évidence

de certains mécanismes pourrait influencer sur les thérapeutiques à mettre en œuvre chez les victimes d'avalanche afin d'améliorer leur survie.

Le protocole comporte la réalisation d'une imagerie toto-corporelle, l'analyse anatomopathologique de prélèvements d'organe, et des analyses biochimiques sur différents liquides biologiques. Nous vous joignons ce protocole afin d'obtenir votre avis et accord pour ce projet.

Afin de mener à bien ce projet, il faudrait que des autopsies médico-légales soient réalisées chez les victimes d'avalanche. Concernant les analyses, le Pr Peoch, expert à la Cour d'Appel de Grenoble, a accepté d'analyser les prélèvements anatomopathologiques à titre gracieux. Dans ce cadre il nous faut votre accord pour l'étude de ces prélèvements à visée scientifique. Concernant les autres éléments du protocole, nous sommes actuellement à la recherche d'un financement.

Je reste à votre disposition pour de plus amples renseignements. Dans l'attente d'une réponse favorable de votre part, je vous prie d'agréer, Monsieur le Procureur, l'expression de mes salutations distinguées.

Pr V Scolas

# Le serment d'Hippocrate

Texte revu par l'Ordre des médecins en 2012

“ **Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.**

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité. Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque.

”

# Bibliographie

1. *The Anatomy Lesson of Dr. Nicolaes Tulp*. In: Wikipedia [Internet]. 2021 [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The\\_Anatomy\\_Lesson\\_of\\_Dr.\\_Nicolaes\\_Tulp&oldid=1056119264](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=The_Anatomy_Lesson_of_Dr._Nicolaes_Tulp&oldid=1056119264)
2. Loi n° 85-30 du 9 janvier 1985 relative au développement et à la protection de la montagne.
3. Les communes classées en zone de montagne (zonage agriculture) | L'Observatoire des Territoires [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/kiosque/zonage-les-zones-de-montagne>
4. Loi relative au développement et à la protection de la montagne (Loi Montagne) [Internet]. Ministère de la Cohésion des territoires et des Relations avec les collectivités territoriales. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/loi-relative-au-developpement-et-la-protection-de-la-montagne-loi-montagne>
5. Prévention été [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://preventionete.sports.gouv.fr/>
6. Prévention Hiver [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://preventionhiver.sports.gouv.fr/>
7. Les Français et la montagne en hiver | entreprises.gouv.fr [Internet]. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/etudes-et-statistiques/dossiers-de-la-dge/francais-et-la-montagne-hiver>
8. SNOSM - Accidentologie | Ecole Nationale de Ski et d'Alpinisme [Internet]. [cité 24 août 2021]. Disponible sur: <https://www.ensa.sports.gouv.fr/index.php/fr/recherche-et-expertise/snosm/accidentologie>
9. Avenir montagnes ingénierie [Internet]. Agence nationale de la cohésion des territoires. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/avenir-montagnes-ingenierie>
10. Domaines Skiables de France [Internet]. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <http://www.domaines-skiables.fr/fr/publications/observatoire/>
11. Corneloup, J. Risques, opinion publique et pratiques d'escalade. *Société*. 1997;55:23-40
12. Tokarski M. Non, les (vrais) alpinistes ne rêvent pas de l'Everest [Internet]. *Slate.fr*. 2019 [cité 23 oct 2021]. Disponible sur: <http://www.slate.fr/story/178296/alpinisme-everest-montagne-himalaya-tourisme>
13. Montagne surfréquentée, secours débordés en Isère [Internet]. *France Bleu*. 2020 [cité 23 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.francebleu.fr/infos/faits-divers-justice/montagne-sur-frequentee-secours-debordes-en-isere-1597739204>

14. Bourdeau P, Mao P, Corneloup J. Les sports de nature comme médiateurs du « pas de deux » ville-montagne. Une habitabilité en devenir? *Ann Geogr.* 17 août 2011;n° 680(4):449-60.
15. Lipsitt P of PLP, Lipsitt LP, Mitnick LL. *Self-regulatory Behavior and Risk Taking: Causes and Consequences.* Greenwood Publishing Group; 1991. 440 p.
16. Truchot G, Canneva H, éditeurs. Tableaux annexes. In: *Les adolescents et le sport* [Internet]. Paris: INSEP-Éditions; 2018 [cité 25 oct 2021]. p. 162-85. (Statistiques, Repères, Analyses). Disponible sur: <http://books.openedition.org/insep/605>
17. Montagne | Données et études statistiques [Internet]. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/montagne-0>
18. Choices made now are critical for the future of our ocean and cryosphere — IPCC [Internet]. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.ipcc.ch/2019/09/25/srocc-press-release/>
19. Strapazzon G, Schweizer J, Chiambretti I, Brodmann Maeder M, Brugger H, Zafren K. Effects of Climate Change on Avalanche Accidents and Survival. *Front Physiol.* 12 avr 2021;12:639433.
20. Le réchauffement climatique | L'Observatoire des Territoires [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/kiosque/2014-environnement-06-le-rechauffement-climatique>
21. Fichier:Phillip James De Louthembourg - An Avalanche in the Alps - Google Art Project.jpg — Wikipédia [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phillip\\_James\\_De\\_Louthembourg\\_-\\_An\\_Avalanche\\_in\\_the\\_Alps\\_-\\_Google\\_Art\\_Project.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phillip_James_De_Louthembourg_-_An_Avalanche_in_the_Alps_-_Google_Art_Project.jpg)
22. L'extrême en vidéo : une avalanche engloutit le skieur Julien Lopez [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/montagne-extreme-video-avalanche-engloutit-skieur-julien-lopez-51768/>
23. AVALANCHE : Définition de AVALANCHE [Internet]. [cité 20 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.cnrtl.fr/definition/avalanche>
24. Avalanches - SLF [Internet]. [cité 20 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/fr/avalanches.html>
25. Old snow - SLF [Internet]. [cité 3 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/en/avalanche-bulletin-and-snow-situation/about-the-avalanche-bulletin/typical-avalanche-problems/old-snow.html>
26. Huguenin P, Techel F, Schweizer J. Accidents d'avalanche en Suisse : statistiques de survie des 20 dernières années. In 2018.
27. Genèse des avalanches - SLF [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/fr/avalanches/genese-des-avalanches.html>

28. Types d'avalanches - SLF [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/fr/avalanches/connaissances-sur-le-theme-des-avalanches-et-prevention/types-davalanches.html>
29. Échelle de risque d'avalanche 2019 - Anena [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/8912-echelle-de-risque-d-avalanche-et-nouveaux-pictogrammes.htm>
30. Détermination de l'indice du risque d'avalanche dans le BRA - Anena [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/7224-determination-de-l-indice-du-risque-d-avalanche-dans-le-bra.htm>
31. White Risk [Internet]. [cité 3 sept 2021]. Disponible sur: <https://whiterisk.ch/fr/welcome>
32. Le NivoTest 2 - Anena [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/6017-le-nivotest-2.htm>
33. Méthode des trois filtres décisionnels - Anena [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/6016-methode-des-trois-filtres-decisionnels.htm>
34. Connaissances sur le thème des avalanches et prévention - SLF [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/fr/avalanches/connaissances-sur-le-theme-des-avalanches-et-prevention.html>
35. Association Nationale pour l'étude de la Neige et des Avalanches - Anena [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/>
36. Médecins de Montagne, association des médecins de station de sport d'hiver. [Internet]. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <http://www.mdem.org/>
37. Portrait - SLF [Internet]. [cité 24 août 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/fr/a-propos-du-slf/portrait.html>
38. Observatoires d'accidentologie & d'activité [Internet]. [cité 29 août 2021]. Disponible sur: <http://www.mdem.org/telecharger-document.php?sid=&idfichier=702&codej=france&page=STATISTIQUE&idapplication=page>
39. ENSM / Risques en matière de sports de montagne - 2019. 2019;42.
40. Bilan des accidents - Anena [Internet]. [cité 29 août 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/5041-bilan-des-accidents.htm>
41. Séisme au Népal – «Je vais être enterré vivant»: récit dans l'enfer de l'Everest | Tribune de Genève [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.tdg.ch/monde/enterre-vivant-recit-enfer-leverest/story/19481323>
42. Soulé B, Lefevre B, Boutroy E, Reynier V. L'accidentologie des sports de montagne en France : un état des lieux basé sur l'exploitation de données secondaires. 32(4), 203–213. Sci Sports [Internet]. 2017 [cité 25 oct 2021]; Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02320944>

43. Berlin C, Techel F, Moor BK, Zwahlen M, Hasler RM, Swiss National Cohort study group. Snow avalanche deaths in Switzerland from 1995 to 2014-Results of a nation-wide linkage study. *PloS One*. 2019;14(12):e0225735.
44. Avalanches et prises de décision : Les raccourcis qui tuent - Anena [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/7059-avalanches-et-prises-de-decision-les-raccourcis-qui-tuent.htm>
45. Techel F, Winkler K, Zweifel B. Analysis of avalanche risk factors in backcountry terrain based on usage frequency and accident data in Switzerland. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 9 sept 2015;15:1985.
46. Accidentologie des sports de montagne [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.petzl.com/fondation/s/accidentologie-des-sports-de-montagne?language=fr>
47. views LM de lecture: 6 mn·3893. L’histoire des Détecteurs de Victimes d’Avalanches (DVA) – 2ème partie [Internet]. *Ski-Libre.com*. 2013 [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.ski-libre.com/testmateriel/securite/histoire-detecteurs-de-victime-avalanche-dva-arva-appareil-recherche-avalanche-part2/>
48. Le système RECCO - ANENA - Anena [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/6025-le-systeme-recco-anena.htm>
49. Le Détecteur de Victime(s) d’Avalanche - Anena [Internet]. [cité 3 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/5952-le-detecteur-de-victime-s-d-avalanche.htm>
50. Falk M, Brugger H, Adler-Kastner L. Avalanche survival chances. *Nature*. mars 1994;368(6466):21-21.
51. Procter E, Strapazzon G, Dal Cappello T, Zweifel B, Würtele A, Renner A, et al. Burial duration, depth and air pocket explain avalanche survival patterns in Austria and Switzerland. *Resuscitation*. août 2016;105:173-6.
52. Comptes rendus des accidents et publications - SLF [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.slf.ch/fr/avalanches/accidents-et-avalanches-provoquant-des-dommages/comptes-rendus-des-accidents-et-publications.html>
53. Deux naufragés au flanc du mont Blanc. *Le Monde.fr* [Internet]. 12 janv 1997 [cité 3 sept 2021]; Disponible sur: [https://www.lemonde.fr/archives/article/1997/01/12/deux-naufrages-au-flanc-du-mont-blanc\\_3737663\\_1819218.html](https://www.lemonde.fr/archives/article/1997/01/12/deux-naufrages-au-flanc-du-mont-blanc_3737663_1819218.html)
54. GRAND FORMAT. Le camp de base de l’Everest dévasté par l’avalanche [Internet]. *L’Obs*. 2015 [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.nouvelobs.com/galerias-photos/photo/20150427.OBS7993/grand-format-le-camp-de-base-de-l-everest-devaste-par-l-avalanche.html>
55. pnrs | La circulaire du 6 juin 2011 sur le secours en montagne [Internet]. [cité 4 sept 2021]. Disponible sur: <http://pnrs.ensosp.fr/Newsletter2/Juridique/Chroniques-d-experts/La-circulaire-du-6-juin-2011-sur-le-secours-en-montagne>
56. Le dispositif ORSEC / Sécurité civile / Sécurité et protection des populations / Politiques publiques / Accueil - Les services de l’État en Savoie [Internet]. [cité 4 sept 2021].

Disponible sur: <https://www.savoie.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-et-protection-des-populations/Securite-civile/Le-dispositif-ORSEC>

57. Dispositif ORSEC / Dispositif ORSEC / Sécurité civile / Sécurité et protection de la population / Politiques publiques / Accueil - Les services de l'État en Meurthe-et-Moselle [Internet]. [cité 21 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.meurthe-et-moselle.gouv.fr/Politiques-publiques/Securite-et-protection-de-la-population/Securite-civile/Dispositif-ORSEC/Dispositif-ORSEC>
58. Stalsberg H, Albretsen C, Gilbert M, Kearney M, Moestue E, Nordrum I, et al. Mechanism of death in avalanche victims. *Virchows Arch A Pathol Anat Histopathol*. 1989;414(5):415-22.
59. Hohlrieder M, Brugger H, Schubert HM, Pavlic M, Ellerton J, Mair P. Pattern and severity of injury in avalanche victims. *High Alt Med Biol*. 2007;8(1):56-61.
60. McIntosh SE, Grissom CK, Olivares CR, Kim HS, Tremper B. Cause of death in avalanche fatalities. *Wilderness Environ Med*. 2007;18(4):293-7.
61. Boyd J, Haegeli P, Abu-Laban RB, Shuster M, Butt JC. Patterns of death among avalanche fatalities: a 21-year review. *CMAJ Can Med Assoc J J Assoc Medicale Can*. 3 mars 2009;180(5):507-12.
62. d'Alnoncourt S. Étude des mécanismes de décès des victimes d'avalanche dans les Alpes françaises, à partir d'une série de 25 observations autopsiques, radiologiques et anatomopathologiques. 19 oct 2017;102.
63. Sheets A, Wang D, Logan S, Atkins D. Causes of Death Among Avalanche Fatalities in Colorado: A 21-Year Review. *Wilderness Environ Med*. 1 sept 2018;29(3):325-9.
64. McIntosh SE, Brant-Zawadzki G, Milliner BH, Christensen ED, Nyberg AA, Grissom CK, et al. Cause of Death in Utah Avalanche Fatalities, 2006–2007 through 2017–2018 Winter Seasons. *Wilderness Environ Med*. 1 juin 2019;30(2):191-4.
65. Colorado Avalanche Information Center – [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://avalanche.state.co.us/>
66. Determination of Death in Mountain Rescue: Recommendations of the International Commission for Mountain Emergency Medicine (ICAR MedCom) - Wilderness & Environmental Medicine [Internet]. [cité 7 sept 2021]. Disponible sur: [https://www.wemjournal.org/article/S1080-6032\(20\)30123-X/fulltext](https://www.wemjournal.org/article/S1080-6032(20)30123-X/fulltext)
67. Boyd J, Brugger H, Shuster M. Prognostic factors in avalanche resuscitation: a systematic review. *Resuscitation*. juin 2010;81(6):645-52.
68. Brugger H, Zafren K, Festi L, Paal P, Strapazzon G. *Mountain Emergency Medicine*. Edra; 2021. 1331 p.
69. Oberhammer R, Beikircher W, Hörmann C, Lorenz I, Pycha R, Adler-Kastner L, et al. Full recovery of an avalanche victim with profound hypothermia and prolonged cardiac arrest treated by extracorporeal re-warming. *Resuscitation*. mars 2008;76(3):474-80.

70. Brugger H, Sumann G, Meister R, Adler-Kastner L, Mair P, Gunga HC, et al. Hypoxia and hypercapnia during respiration into an artificial air pocket in snow: implications for avalanche survival. *Resuscitation*. 1 juill 2003;58(1):81-8.
71. Roubík K, Sieger L, Sykora K. Work of Breathing into Snow in the Presence versus Absence of an Artificial Air Pocket Affects Hypoxia and Hypercapnia of a Victim Covered with Avalanche Snow: A Randomized Double Blind Crossover Study. *PLoS ONE* [Internet]. 14 déc 2015 [cité 15 oct 2020];10(12). Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4682855/>
72. Grissom CK, Radwin MI, Harmston CH, Hirshberg EL, Crowley TJ. Respiration During Snow Burial Using an Artificial Air Pocket. *JAMA*. 3 mai 2000;283(17):2266-71.
73. Strapazzon G, Paal P, Schweizer J, Falk M, Reuter B, Schenk K, et al. Effects of snow properties on humans breathing into an artificial air pocket – an experimental field study. *Sci Rep*. 15 déc 2017;7(1):17675.
74. Strapazzon G, Gatterer H, Falla M, Cappello TD, Malacrida S, Turner R, et al. Hypoxia and hypercapnia effects on cerebral oxygen saturation in avalanche burial: A pilot human experimental study. *Resuscitation*. 1 janv 2021;158:175-82.
75. Haegeli P, Falk M, Brugger H, Etter H-J, Boyd J. Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland. *CMAJ Can Med Assoc J J Assoc Medicale Can*. 19 avr 2011;183(7):789-95.
76. Performance des DVA - Anena [Internet]. [cité 13 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.anena.org/5947-performance-des-dva.htm#par42794>
77. Brugger H, Etter HJ, Zweifel B, Mair P, Hohlrieder M, Ellerton J, et al. The impact of avalanche rescue devices on survival. *Resuscitation*. 1 déc 2007;75(3):476-83.
78. Grasegger K, Strapazzon G, Procter E, Brugger H, Soteras I. Avalanche Survival After Rescue With the RECCO Rescue System: A Case Report. *Wilderness Environ Med*. juin 2016;27(2):282-6.
79. Pasquier M, Gnaegi A, Hugli O. In Response to RECCO in Avalanche Rescue by Grasegger et al. *Wilderness Environ Med*. déc 2016;27(4):533-4.
80. Haegeli P, Falk M, Procter E, Zweifel B, Jarry F, Logan S, et al. The effectiveness of avalanche airbags. *Resuscitation*. 1 sept 2014;85(9):1197-203.
81. Ng P, Smith WR, Wheeler A, McIntosh SE. Advanced Avalanche Safety Equipment of Backcountry Users: Current Trends and Perceptions. *Wilderness Environ Med*. sept 2015;26(3):417-21.
82. Schmidt U, Oramary D, Kamin K, Buschmann CT, Kleber C. Synergistic Effects of Forensic Medicine and Traumatology: Comparison of Clinical Diagnosis Autopsy Findings in Trauma-Related Deaths. *World J Surg*. avr 2020;44(4):1137-48.
83. Sharma OP, Scala-Barnett DM, Oswanski MF, Aton A, Raj SS. Clinical and autopsy analysis of delayed diagnosis and missed injuries in trauma patients. *Am Surg*. févr 2006;72(2):174-9.

84. Steinwall D, Befrits F, Naidoo SR, Hardcastle T, Eriksson A, Muckart DJJ. Deaths at a Level 1 Trauma Unit: a clinical finding and post-mortem correlation study. *Injury*. janv 2012;43(1):91-5.
85. Neblett ACG, Gibson TN, Escoffery CT. Unexpected findings and misdiagnoses in coroner's autopsies performed for trauma at the University of the West Indies, Kingston, Jamaica. *Forensic Sci Med Pathol*. sept 2018;14(3):314-21.
86. Jalalzadeh H, Giannakopoulos GF, Berger FH, Fronczek J, van de Goot FRW, Reijnders UJ, et al. Post-mortem imaging compared with autopsy in trauma victims--A systematic review. *Forensic Sci Int*. déc 2015;257:29-48.
87. Lin MJ, Barry N, Akusoba I, Hon HH, Cohen MS, Shukla P, et al. Traditional autopsy versus computed tomography imaging autopsy in trauma: A case of « synergistic disagreement ». *Surgery*. juill 2016;160(1):211-9.
88. Grosse AB, Grosse CA, Steinbach LS, Zimmermann H, Anderson S. Imaging findings of avalanche victims. *Skeletal Radiol*. 1 juin 2007;36(6):515-21.
89. Pietra GG, Rüttner JR, Wüst W, Glinz W. The lung after trauma and shock--fine structure of the alveolar-capillary barrier in 23 autopsies. *J Trauma*. juin 1981;21(6):454-62.
90. Boghossian E. L'asphyxie en médecine légale : une étude rétrospective de six ans sur les suffocations non-chimiques au Québec. 2 sept 2010 [cité 1 oct 2021]; Disponible sur: <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/4196>
91. Masson E. Physiopathologie de l'oedème pulmonaire [Internet]. EM-Consulte. [cité 18 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/60457/physiopathologie-de-l-oedeme-pulmonaire>
92. Figure 14. Equation de Frank-Starling. D'après Starling EH. *J Physiol*.... [Internet]. ResearchGate. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: [https://www.researchgate.net/figure/Equation-de-Frank-Starling-Dapres-Starling-EH-J-Physiol-189619312-26-91\\_fig4\\_310425768](https://www.researchgate.net/figure/Equation-de-Frank-Starling-Dapres-Starling-EH-J-Physiol-189619312-26-91_fig4_310425768)
93. Cohen JG, Grenier F, D'Alnoncourt S, Reymond E, Blancher M, Peoc'h M, et al. Asphyxia after complete avalanche burial: A new paradigm. *Resuscitation*. sept 2017;118:e1-2.
94. Walpoth BH, Locher T, Leupi F, Schüpbach P, Mühlemann W, Althaus U. Accidental deep hypothermia with cardiopulmonary arrest: extracorporeal blood rewarming in 11 patients. *Eur J Cardio-Thorac Surg Off J Eur Assoc Cardio-Thorac Surg*. 1990;4(7):390-3.
95. Glisenti P, Rakusa J, Albrecht R, Luedi MM. Negative pressure pulmonary oedema with haemorrhage after 5-minute avalanche burial. *Lancet Lond Engl*. 5 nov 2016;388(10057):2321-2.
96. Sumann G, Putzer G, Brugger H, Paal P. Pulmonary edema after complete avalanche burial. *High Alt Med Biol*. déc 2012;13(4):295-6.
97. Slavin G, Kreel L, Herbert A, Sandin B. Pulmonary oedema at necropsy: a combined pathological and radiological method of study. *J Clin Pathol*. mai 1975;28(5):357-66.

98. Zhu B-L, Ishikawa T, Michiue T, Li D-R, Zhao D, Oritani S, et al. Postmortem cardiac troponin T levels in the blood and pericardial fluid. Part 1. Analysis with special regard to traumatic causes of death. *Leg Med Tokyo Jpn.* mars 2006;8(2):86-93.
99. Zhu B-L, Ishikawa T, Michiue T, Li D-R, Zhao D, Kamikodai Y, et al. Postmortem cardiac troponin T levels in the blood and pericardial fluid. Part 2: analysis for application in the diagnosis of sudden cardiac death with regard to pathology. *Leg Med Tokyo Jpn.* mars 2006;8(2):94-101.
100. Aissaoui A, Haj Salem N, Zaqout A, Boughattas M, Belhaj M, Mosrati MA, et al. [Cardiac troponin I and the post-mortem diagnosis of myocardial damage]. *Ann Cardiol Angeiol (Paris).* août 2013;62(4):248-52.
101. Palmiere C, Tettamanti C, Bonsignore A, De Stefano F, Vanhaebost J, Rousseau G, et al. Cardiac troponins and NT-proBNP in the forensic setting: Overview of sampling site, postmortem interval, cardiopulmonary resuscitation, and review of the literature. *Forensic Sci Int.* janv 2018;282:211-8.
102. Bañón R, Hernández-Romero D, Navarro E, Pérez-Cárceles MD, Noguera-Velasco JA, Osuna E. Combined determination of B-type natriuretic peptide and high-sensitivity troponin I in the postmortem diagnosis of cardiac disease. *Forensic Sci Med Pathol.* déc 2019;15(4):528-35.
103. González-Herrera L, Valenzuela A, Ramos V, Blázquez A, Villanueva E. Cardiac troponin T determination by a highly sensitive assay in postmortem serum and pericardial fluid. *Forensic Sci Med Pathol.* juin 2016;12(2):181-8.
104. Chen J-H, Inamori-Kawamoto O, Michiue T, Ikeda S, Ishikawa T, Maeda H. Cardiac biomarkers in blood, and pericardial and cerebrospinal fluids of forensic autopsy cases: A reassessment with special regard to postmortem interval. *Leg Med Tokyo Jpn.* sept 2015;17(5):343-50.
105. Zribi M, Ennouri H, Turki M, Ben Amar W, Grati MA, Hammami Z, et al. Diagnostic value of high-sensitivity troponin T in postmortem diagnosis of sudden cardiac death. *J Forensic Leg Med.* févr 2021;78:102127.
106. Remmer S, Kuudeberg A, Tõnisson M, Lepik D, Väli M. Cardiac troponin T in forensic autopsy cases. *Forensic Sci Int.* 10 déc 2013;233(1-3):154-7.
107. Ellingsen CL, Hetland Ø. Serum concentrations of cardiac troponin T in sudden death. *Am J Forensic Med Pathol.* sept 2004;25(3):213-5.
108. Zhu B-L, Ishikawa T, Michiue T, Li D-R, Zhao D, Bessho Y, et al. Postmortem cardiac troponin I and creatine kinase MB levels in the blood and pericardial fluid as markers of myocardial damage in medicolegal autopsy. *Leg Med Tokyo Jpn.* sept 2007;9(5):241-50.
109. Sabatasso S, Vaucher P, Augsburger M, Donzé N, Mangin P, Michaud K. Sensitivity and specificity of NT-proBNP to detect heart failure at post mortem examination. *Int J Legal Med.* nov 2011;125(6):849-56.
110. Onde J d'Osborn: e-cardiogram [Internet]. [cité 22 oct 2021]. Disponible sur: <https://www.e-cardiogram.com/onde-j-dosborn/>

111. Locher T, Walpoth BH. [Differential diagnosis of circulatory failure in hypothermic avalanche victims: retrospective analysis of 32 avalanche accidents]. *Praxis*. 8 oct 1996;85(41):1275-82.
112. Mittermair C, Foidl E, Wallner B, Brugger H, Paal P. Extreme Cooling Rates in Avalanche Victims: Case Report and Narrative Review. *High Alt Med Biol*. juin 2021;22(2):235-40.
113. Grissom CK, Radwin MI, Scholand MB, Harmston CH, Muetterties MC, Bywater TJ. Hypercapnia increases core temperature cooling rate during snow burial. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. avr 2004;96(4):1365-70.
114. Meyer M, Pelurson N, Khabiri E, Siegenthaler N, Walpoth BH. Sequela-free long-term survival of a 65-year-old woman after 8 hours and 40 minutes of cardiac arrest from deep accidental hypothermia. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1 janv 2014;147(1):e1-2.
115. Althaus U, Aeberhard P, Schüpbach P, Nachbur BH, Mühlemann W. Management of profound accidental hypothermia with cardiorespiratory arrest. *Ann Surg*. avr 1982;195(4):492-5.
116. From an icy slope, a medical miracle emerges - CNN.com [Internet]. [cité 7 sept 2021]. Disponible sur: <http://edition.cnn.com/2009/HEALTH/10/12/cheating.death.bagenholm/index.html>
117. Walpoth BH, Walpoth-Aslan BN, Mattle HP, Radanov BP, Schroth G, Schaeffler L, et al. Outcome of survivors of accidental deep hypothermia and circulatory arrest treated with extracorporeal blood warming. *N Engl J Med*. 20 nov 1997;337(21):1500-5.
118. Pasquier M, Rousson V, Darocha T, Bouzat P, Kosiński S, Sawamoto K, et al. Hypothermia outcome prediction after extracorporeal life support for hypothermic cardiac arrest patients: An external validation of the HOPE score. *Resuscitation*. juin 2019;139:321-8.
119. ICAR MED REC 2021 Clinical Staging of Accidental Hypothermia [Internet]. [cité 7 sept 2021]. Disponible sur: <http://icar-med.com/Recommendations/Current-Recommendations/Clinical-Staging-of-Accidental-Hypothermia/>
120. Cohen JG, Boué Y, Boussat B, Reymond E, Grand S, Blancher M, et al. Serum potassium concentration predicts brain hypoxia on CT after avalanche-induced cardiac arrest. *Am J Emerg Med*. mai 2016;34(5):856-60.
121. Pasquier M, Hugli O, Paal P, Darocha T, Blancher M, Husby P, et al. Hypothermia outcome prediction after extracorporeal life support for hypothermic cardiac arrest patients: The HOPE score. *Resuscitation*. 1 mai 2018;126:58-64.
122. Imaging findings of avalanche victims | SpringerLink [Internet]. [cité 15 oct 2020]. Disponible sur: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00256-006-0259-1>
123. Palmiere C, Teresiński G, Hejna P. Postmortem diagnosis of hypothermia. *Int J Legal Med*. 1 juill 2014;128(4):607-14.
124. Türk EE, Sperhake JP, Madea B, Preuß J, Tsokos M. Immunohistochemical detection of hemoglobin in frost erythema. *Forensic Sci Int*. 10 mai 2006;158(2):131-4.

125. Rousseau G, Rougé-Maillart C, Alarcán H, Drevin G, Gaconnet A, Reynier P, et al. Biochimie thanatologique : ses apports au diagnostic de décès par hypothermie. *Ann Biol Clin (Paris)*. 1 nov 2019;77(6):651-9.
126. Palmiere C, Teresiński G, Hejna P, Mangin P, Grouzmann E. Diagnostic performance of urinary metanephrines for the postmortem diagnosis of hypothermia. *Forensic Sci Med Pathol*. 1 déc 2014;10(4):518-25.
127. Kawasumi Y, Onozuka N, Kakizaki A, Usui A, Hosokai Y, Sato M, et al. Hypothermic death: possibility of diagnosis by post-mortem computed tomography. *Eur J Radiol*. févr 2013;82(2):361-5.
128. HERON AM. La loi Jardé en 4 minutes [Internet]. *SoEpidemio*. 2020 [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: <https://soepidemio.com/2020/01/22/la-loi-jarde-en-4-minutes/>
129. Recherche médicale : quel est le cadre légal ? | CNIL [Internet]. [cité 22 août 2021]. Disponible sur: <https://www.cnil.fr/en/node/24981>
130. GIRCI AURA - Recherche Clinique en Auvergne Rhône-Alpes [Internet]. [cité 22 août 2021]. Disponible sur: <https://www.girci-aura.fr/>
131. Tous les financements : appels à projets, appels d'offres, prix, bourses, etc. - Neuro [Internet]. [cité 22 août 2021]. Disponible sur: <https://itneuro.aviesan.fr/index.php?pagendx=1626>
132. Fichier:Enrique Simonet - La autopsia - 1890.jpg — Wikipédia [Internet]. [cité 25 oct 2021]. Disponible sur: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Enrique\\_Simonet\\_-\\_La\\_autopsia\\_-\\_1890.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Enrique_Simonet_-_La_autopsia_-_1890.jpg)