

FFCAM

# Rénovation et extension du Refuge de la Lavey *Saint-Christophe-en-Oisans*

## Evaluation environnementale Pièce n°3

Pièce 1 : Résumé non technique de l'évaluation environnementale

Pièce 2 : Evaluation environnementale

**Pièce 3 : Annexes de l'évaluation environnementale**

3 octobre 2024  
Réf. : 2024121

## TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES .....	1
ANNEXE 1 : Plans techniques du projet.....	2
ANNEXE 2 : Rapport d'étude d'Assainissement Non Collectif – Aqu'fer.....	3
ANNEXE 3 : Etude de faisabilité- Axenne.....	4
ANNEXE 4 : Analyses trajectographiques– Pyrite - Engineerisk .....	5
ANNEXE 4.1 : Analyses trajectographiques– Avis RTM .....	6
ANNEXE 4.2 : Analyses trajectographiques– Avis DDT .....	7
ANNEXE 5 : Diagnostic avalanche - Engineerisk.....	8
ANNEXE 6 : Calcul des émissions de GES du projet.....	9
1.1. Phase travaux .....	9
1.2. Phase exploitation .....	11

## ANNEXE 1 : Plans techniques du projet

# PC 2.2 - Plan de Masse - **Projet**

Demande de  
Permis de  
Construire

Rénovation et Extension  
du **Refuge de La Lavey**

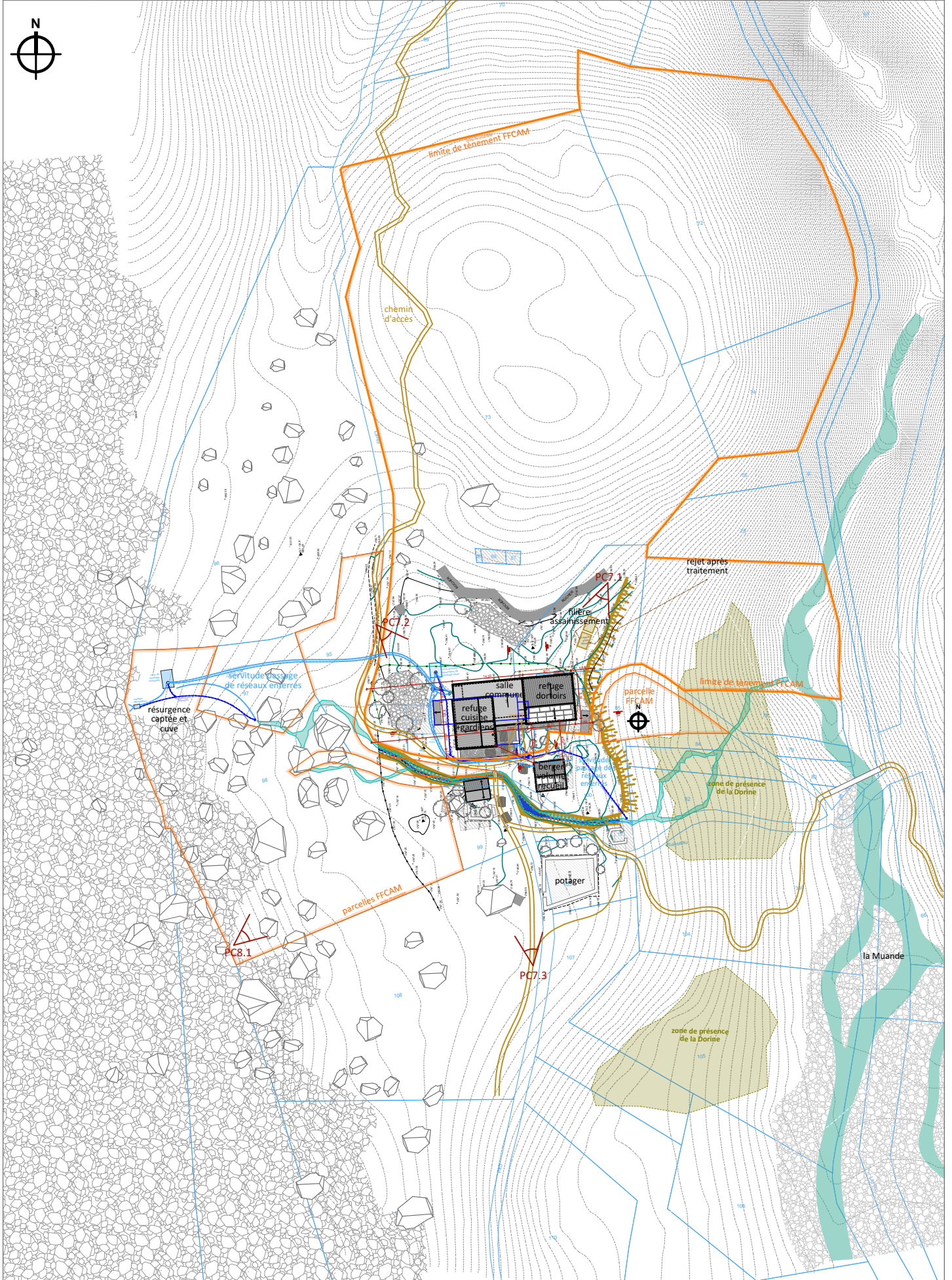
Demandeur : **FFCAM**  
Fédération Française des Clubs  
Alpins et de Montagne

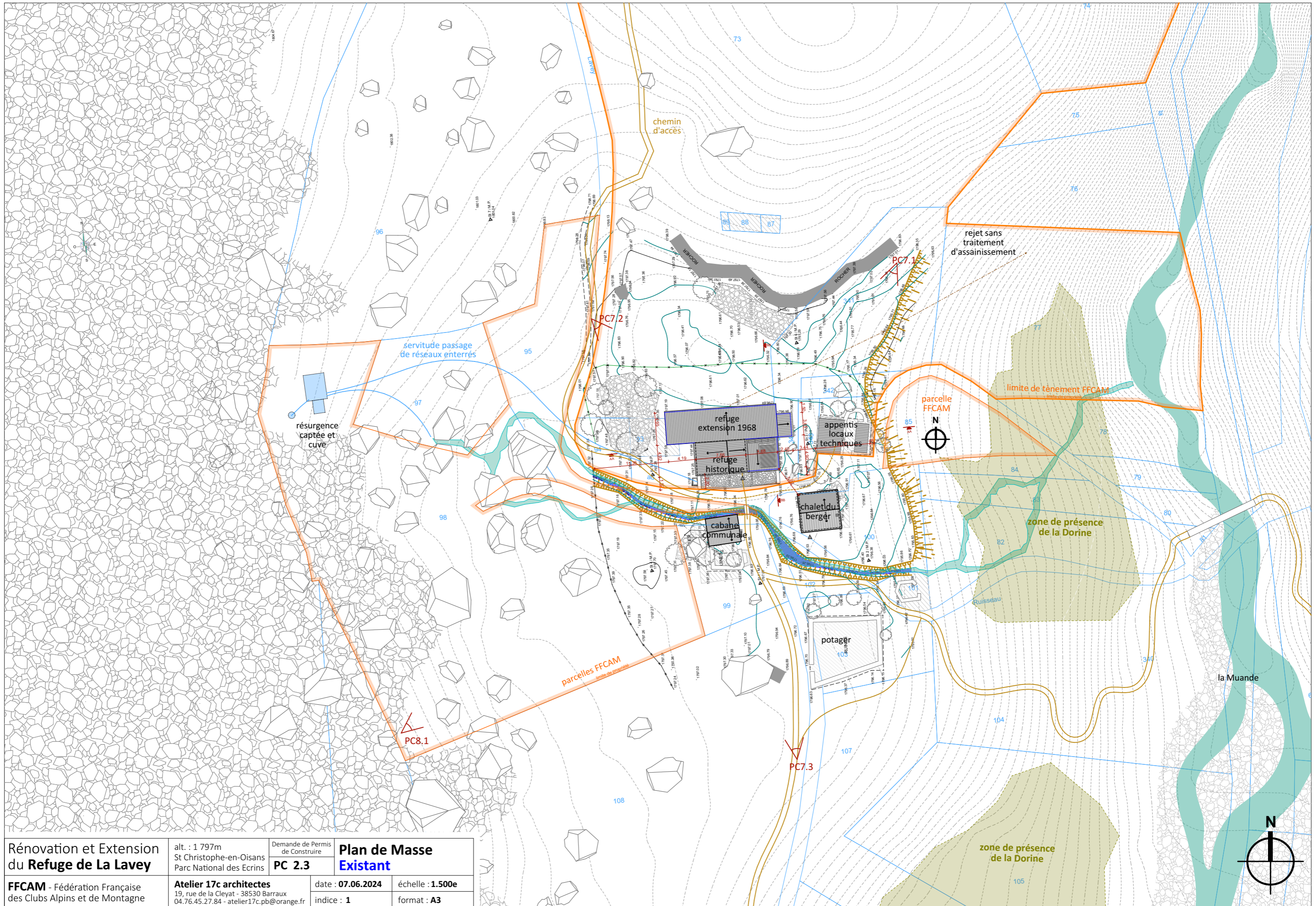
Localisation : alt. 1 797m  
Saint-Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

date : **07.06.2024**  
indice : **1** format : **A4**  
échelle : **1.1000e**

**17c**  
architectes

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr





**Rénovation et Extension  
du Refuge de La Lavey**

alt. : 1 797m  
St Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

Demande de Permis  
de Construire  
**PC 2.3**

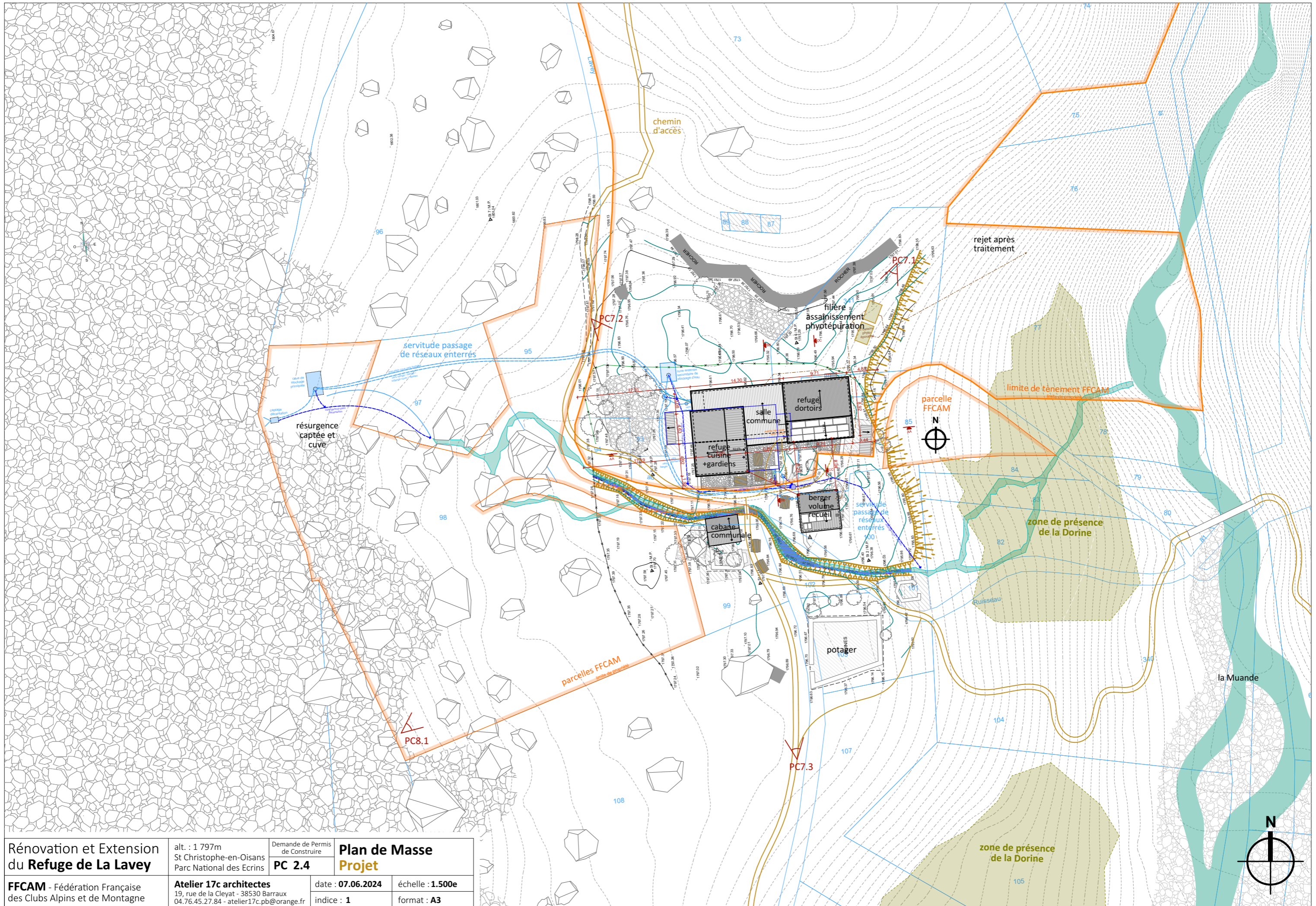
**Plan de Masse  
Existant**

**FFCAM** - Fédération Française  
des Clubs Alpins et de Montagne

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr

date : **07.06.2024**  
indice : **1**

échelle : **1.500e**  
format : **A3**



Rénovation et Extension  
du **Refuge de La Lavey**

alt. : 1 797m  
St Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

Demande de Permis  
de Construire  
**PC 2.4**

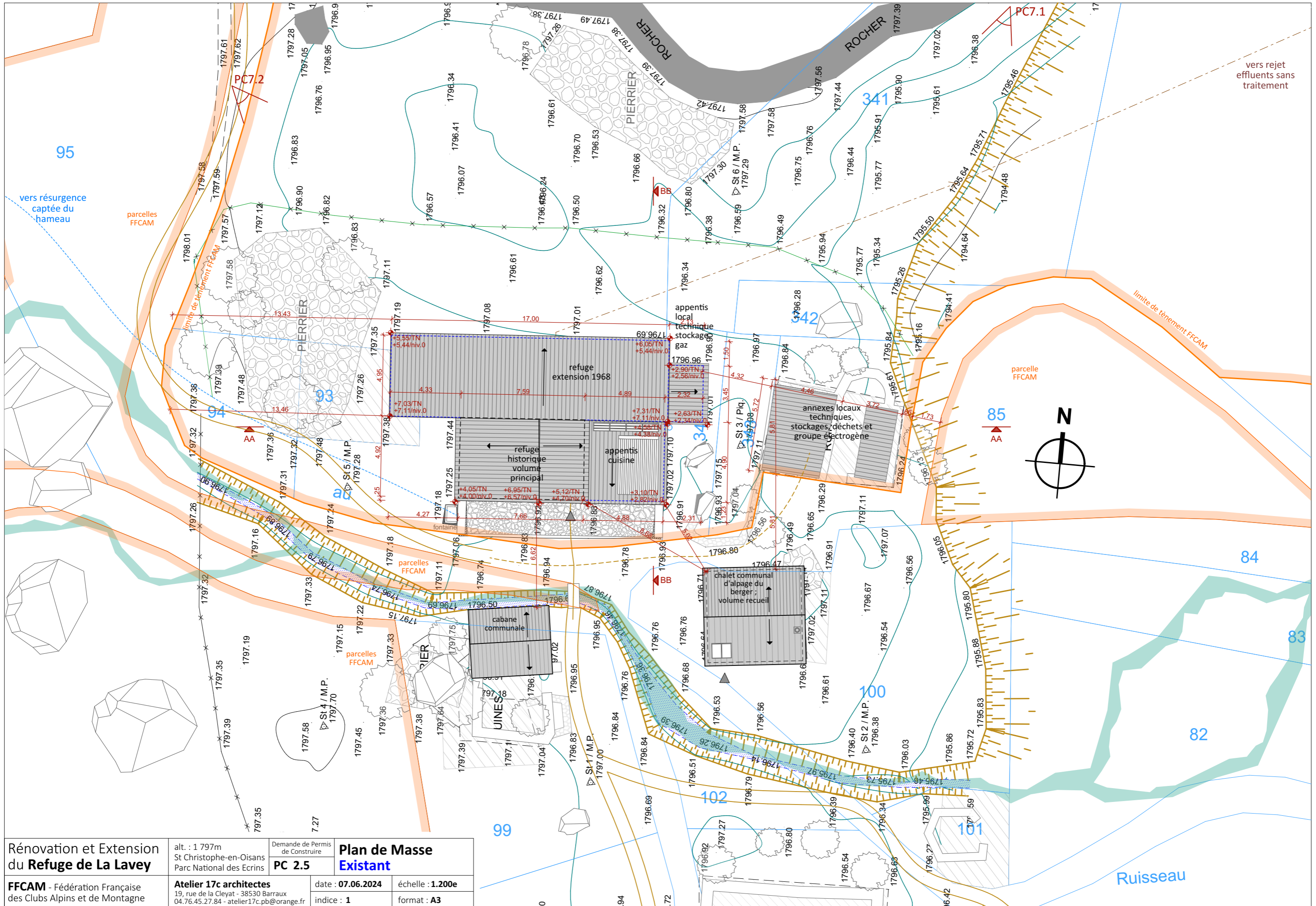
**Plan de Masse  
Projet**

**FFCAM** - Fédération Française  
des Clubs Alpins et de Montagne

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr

date : **07.06.2024**  
indice : **1**

échelle : **1.500e**  
format : **A3**



Rénovation et Extension  
du Refuge de La Lavey

alt. : 1 797m  
St Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

Demande de Permis  
de Construire  
**PC 2.5**

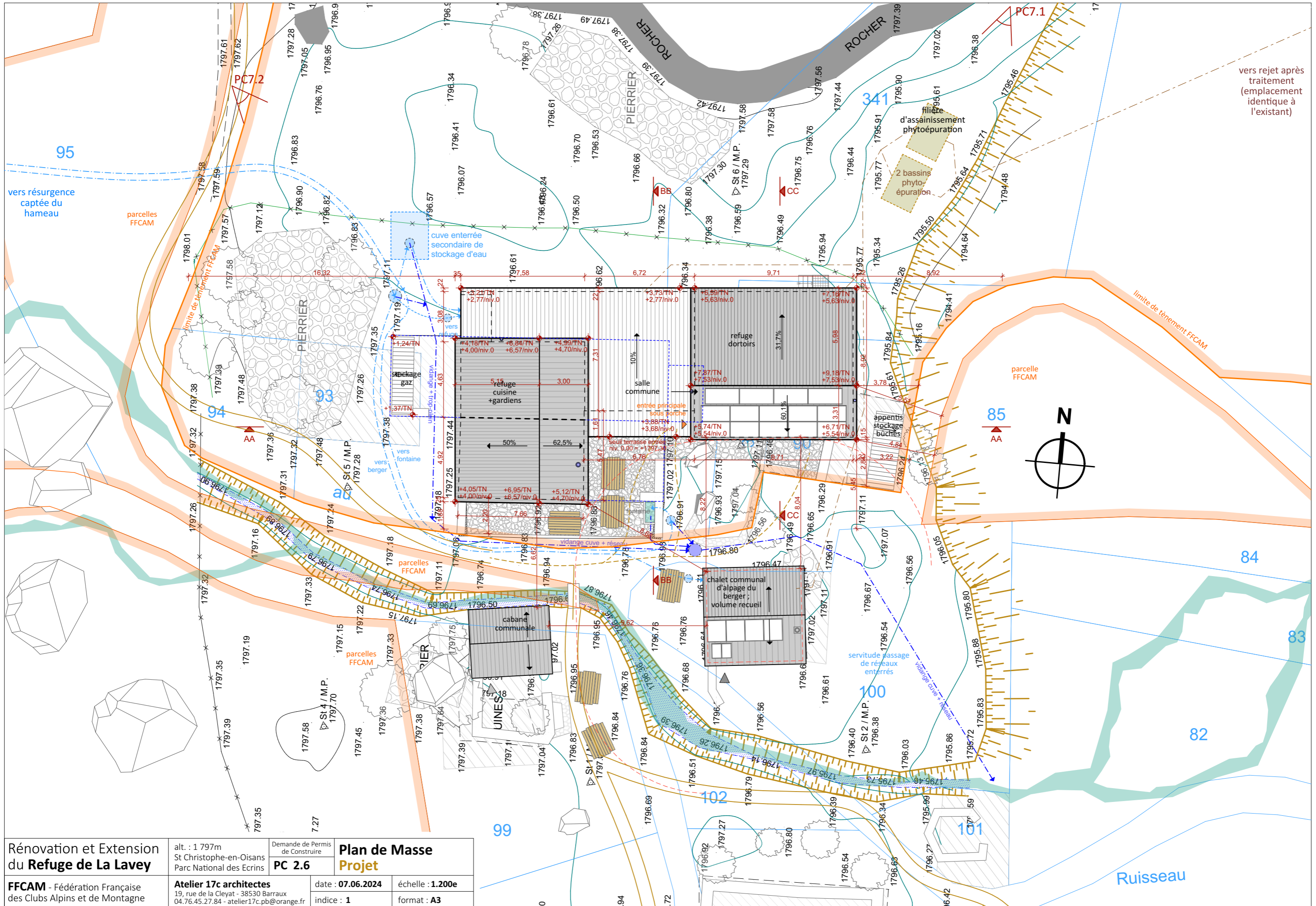
**Plan de Masse  
Existant**

**FFCAM** - Fédération Française  
des Clubs Alpins et de Montagne

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr

date : **07.06.2024**  
indice : **1**

échelle : **1.200e**  
format : **A3**



**Rénovation et Extension  
du Refuge de La Lavey**

alt. : 1 797m  
St Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

Demande de Permis  
de Construire  
**PC 2.6**

**Plan de Masse  
Projet**

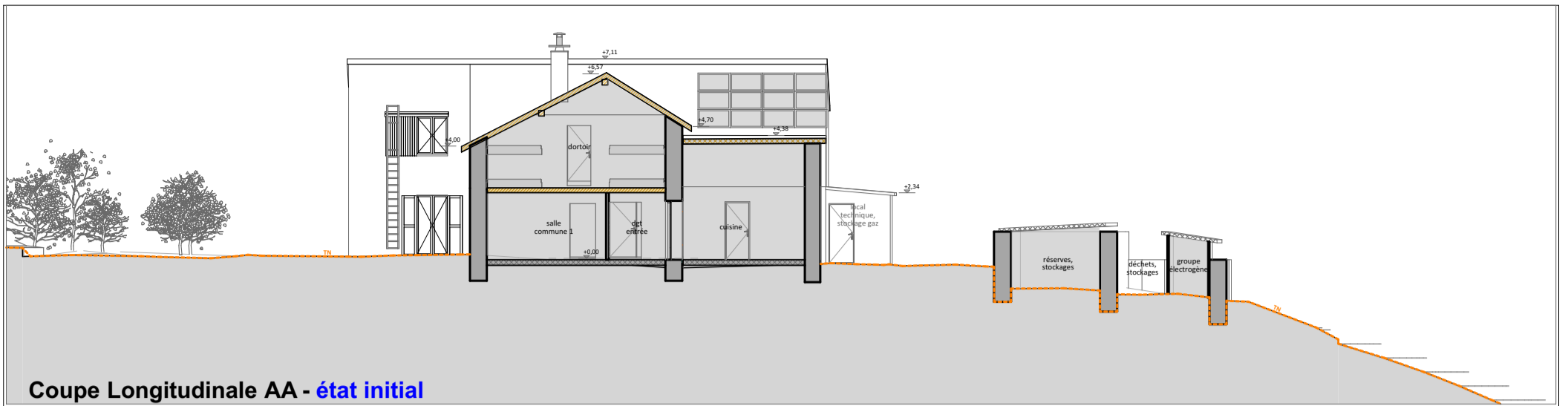
**FFCAM** - Fédération Française  
des Clubs Alpins et de Montagne

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr

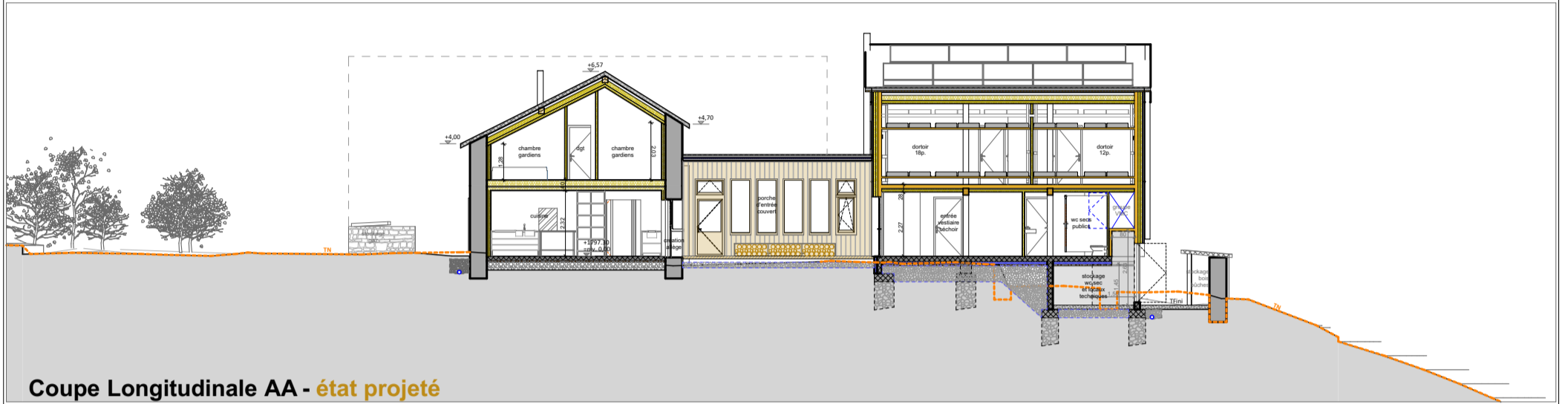
date : **07.06.2024**  
indice : **1**

échelle : **1.200e**  
format : **A3**

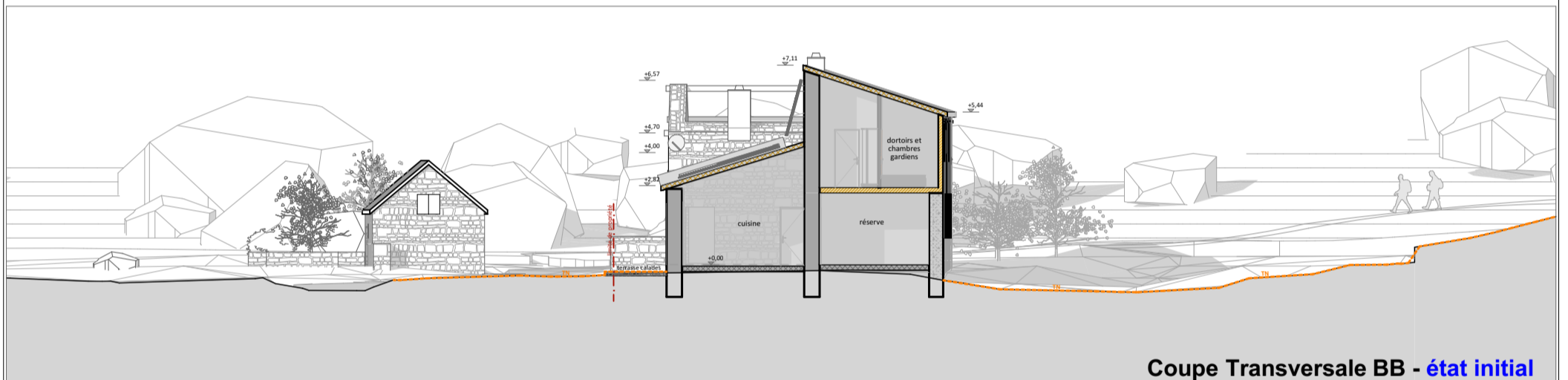




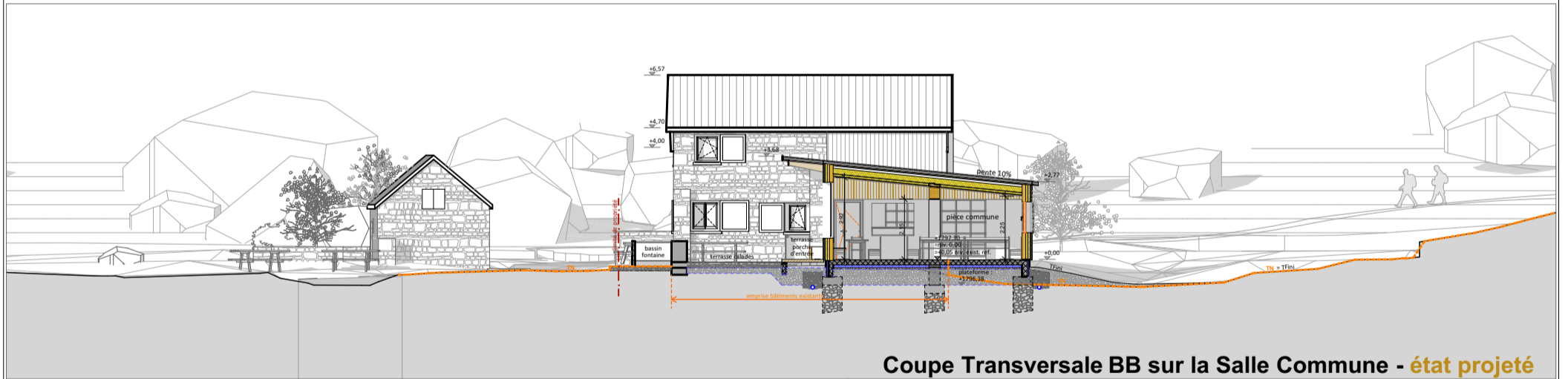
Coupe Longitudinale AA - état initial



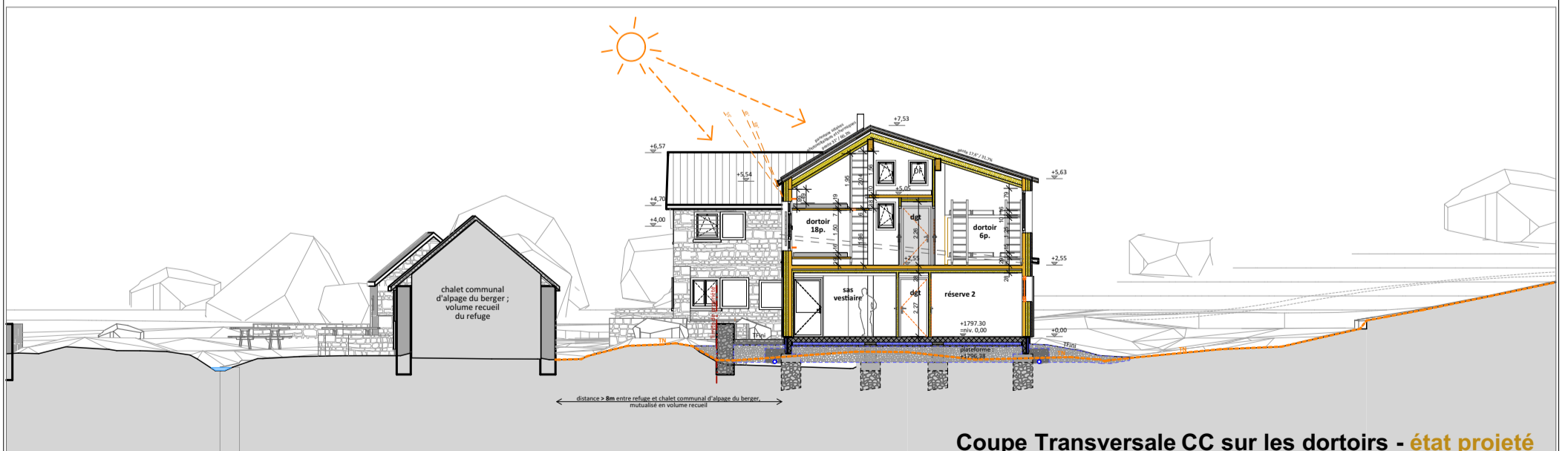
Coupe Longitudinale AA - état projeté



Coupe Transversale BB - état initial



Coupe Transversale BB sur la Salle Commune - état projeté



Coupe Transversale CC sur les dortoirs - état projeté

Rénovation et Extension du <b>Refuge de La Lavey</b>	alt. : 1 797m St Christophe-en-Oisans Parc National des Ecrins	Demande de Permis de Construire <b>PC 3.1</b>	<b>Coupes</b> Existant et Projet	
			date : <b>07.06.2024</b>	échelle : <b>1.200e</b>
<b>FFCAM</b> - Fédération Française des Clubs Alpains et de Montagne	<b>Atelier 17c architectes</b> 19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux 04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr	indice : <b>1</b>	format : <b>A3</b>	



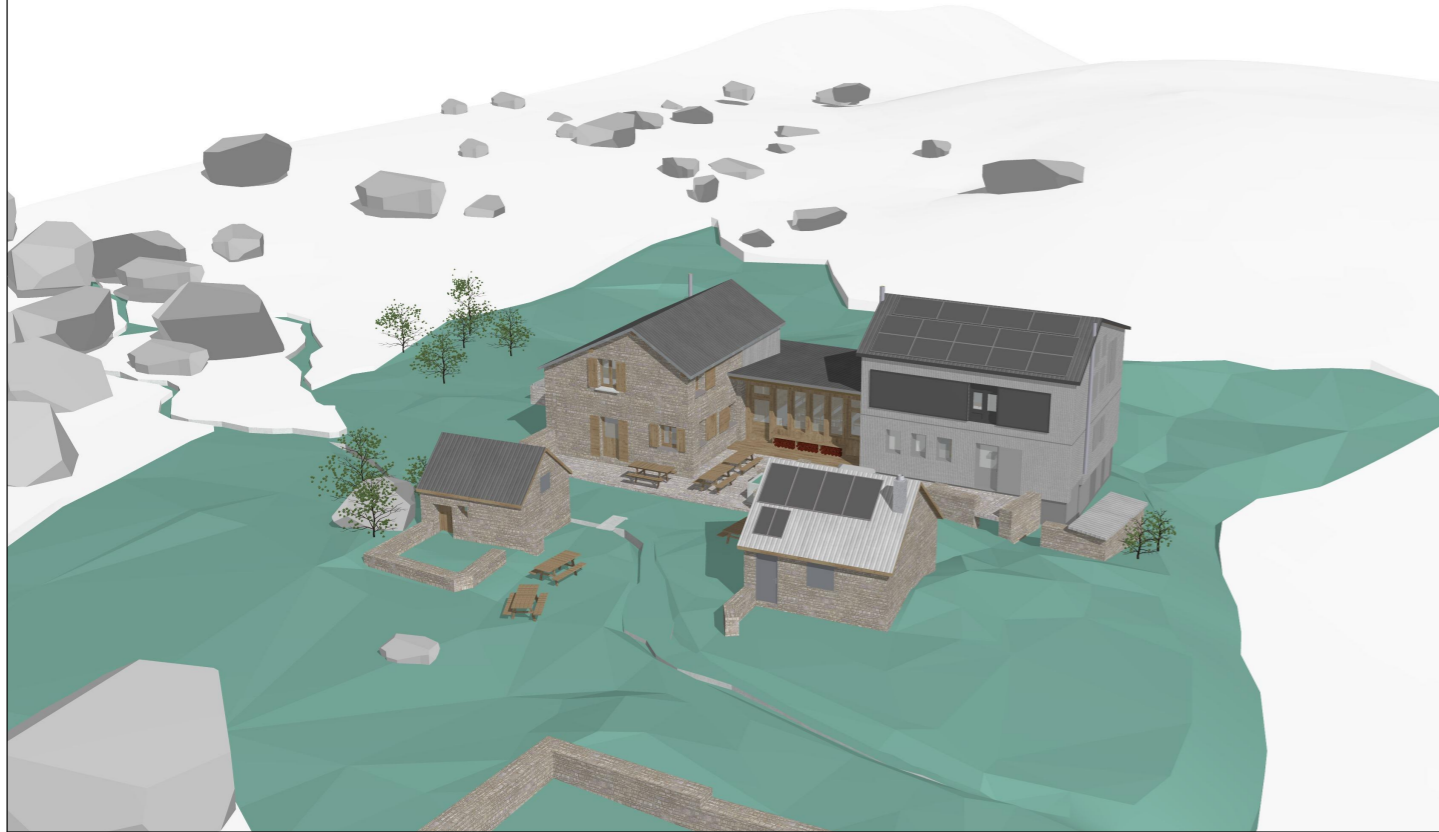
Vue du refuge et du hameau de La Lavey, depuis le Sud, **état initial**



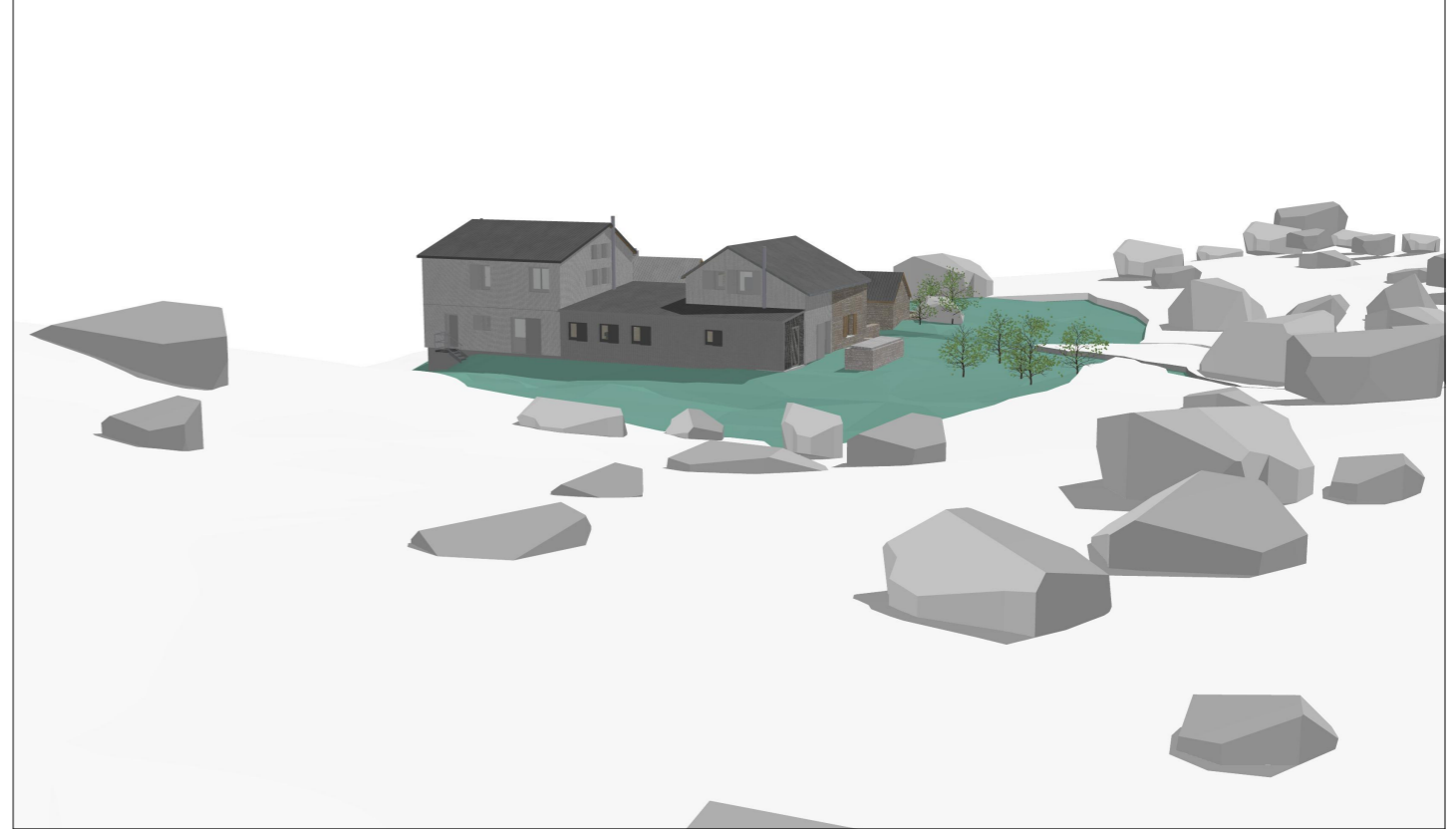
Vue du refuge et du hameau de La Lavey, depuis le Sud, **état projeté**

Rénovation et Extension du <b>Refuge de La Lavey</b>	alt. : 1 797m St Christophe-en-Oisans Parc National des Ecrins	Demande de Permis de Construire	<b>Insertion Paysagère</b>
		<b>PC 6.1</b>	
<b>FFCAM</b> - Fédération Française des Clubs Alpains et de Montagne	<b>Atelier 17c architectes</b> 19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux 04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr	date : <b>07.06.2024</b>	échelle : -
		indice : <b>1</b>	format : <b>A3</b>

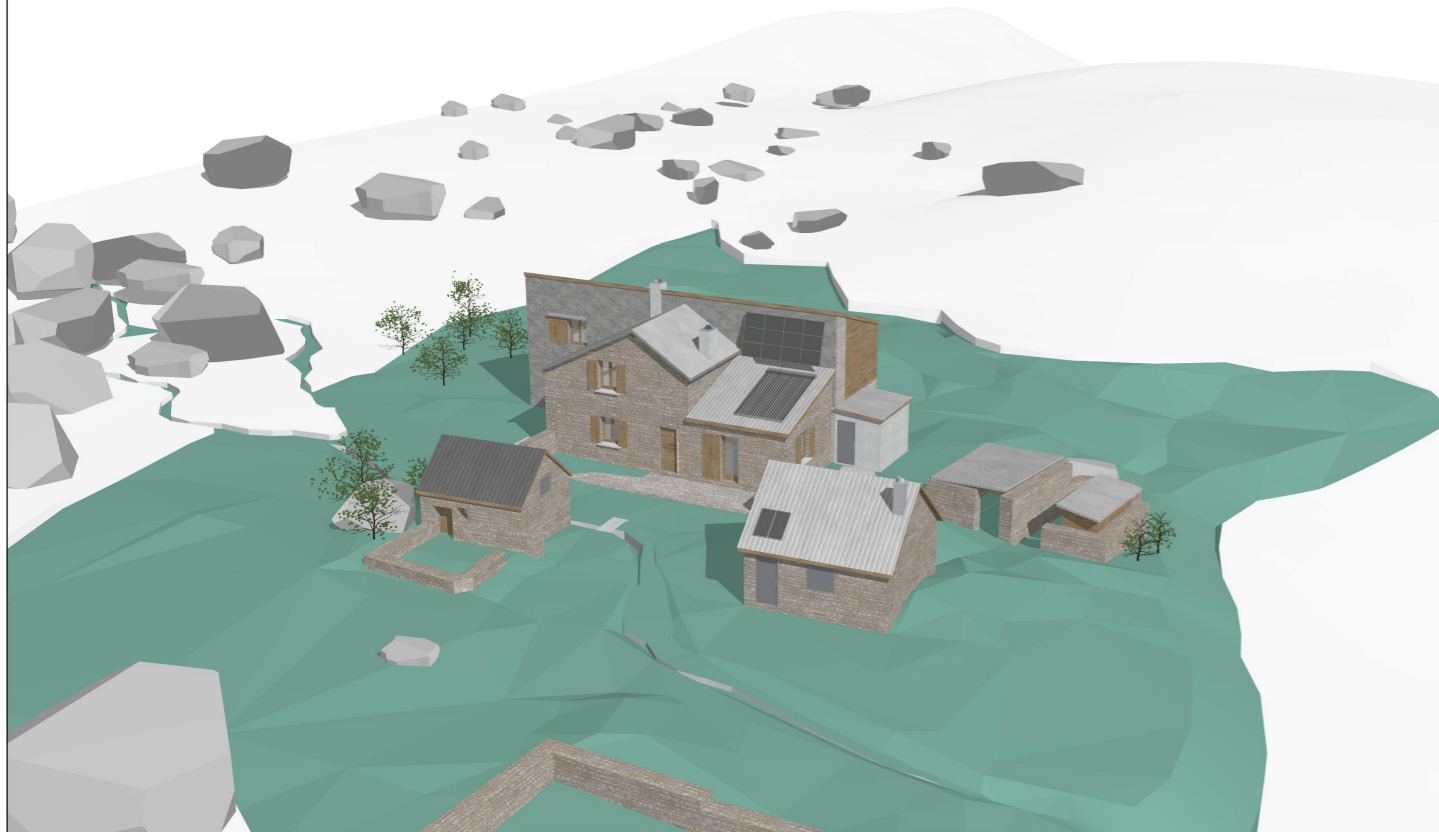
Axonométrie du refuge et du hameau, depuis le Sud-Est - état projeté



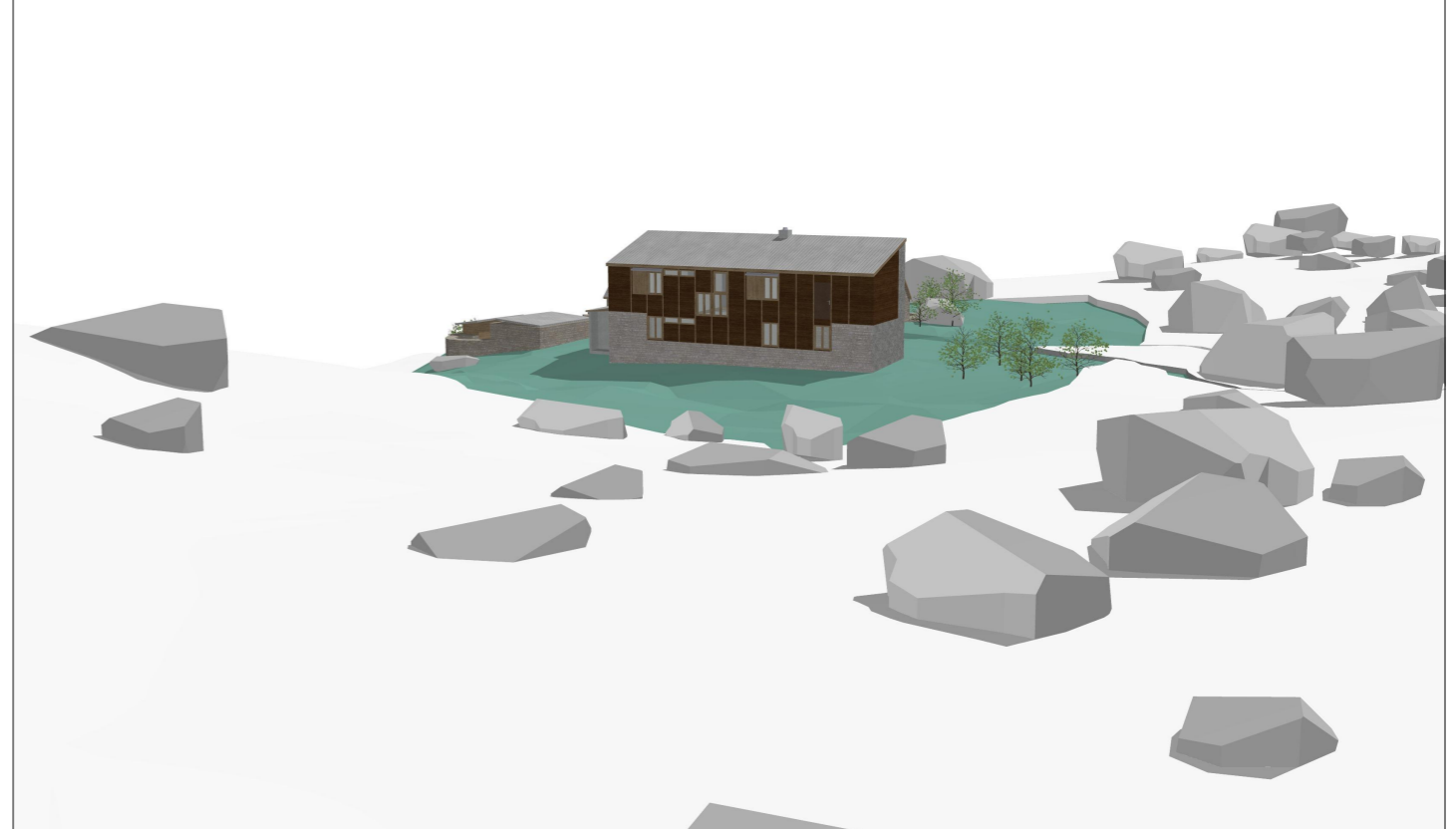
Vue depuis le Nord-Ouest, en arrivant au refuge et au hameau - état projeté



Axonométrie du refuge et du hameau, depuis le Sud-Est - état initial



Vue depuis le Nord-Ouest, en arrivant au refuge et au hameau - état initial



Rénovation et Extension  
du **Refuge de La Lavey**

alt. : 1 797m  
St Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

Demande de Permis  
de Construire  
**PC 6.2**

**Insertion Paysagère**  
Vues brutes

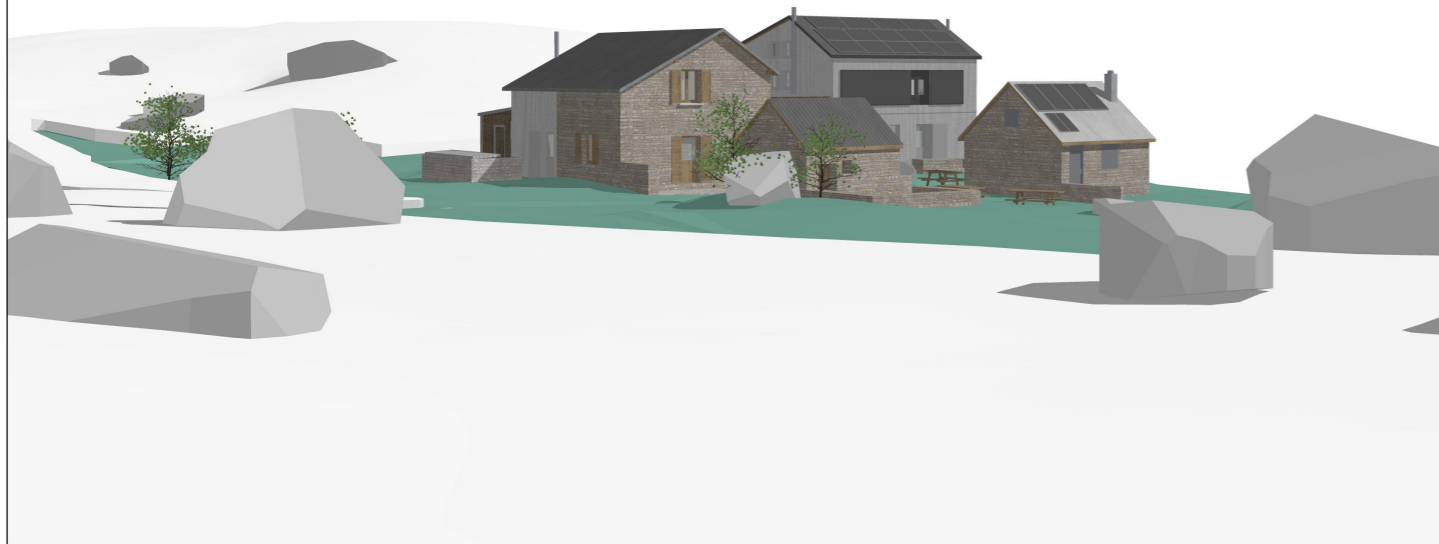
**FFCAM** - Fédération Française  
des Clubs Alpains et de Montagne

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr

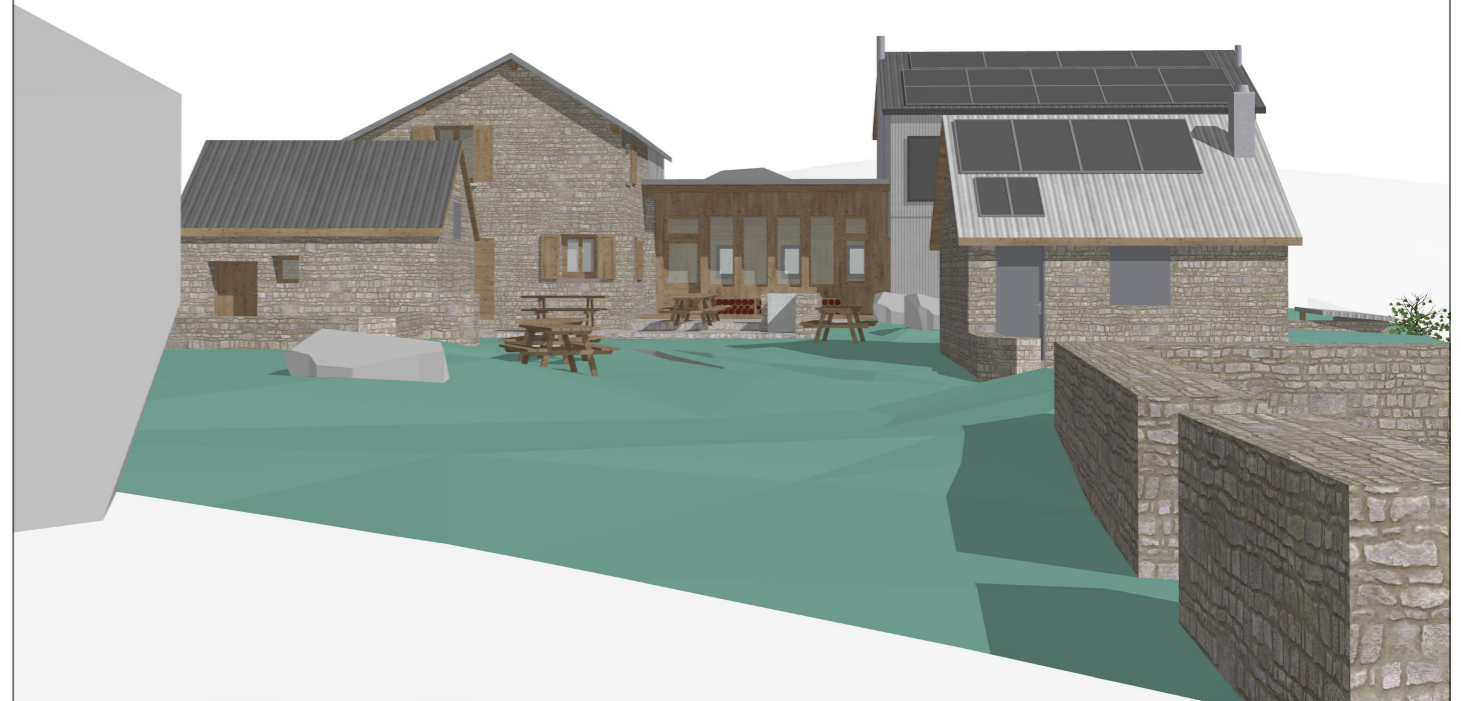
date : **07.06.2024**  
indice : **1**

échelle : -  
format : **A3**

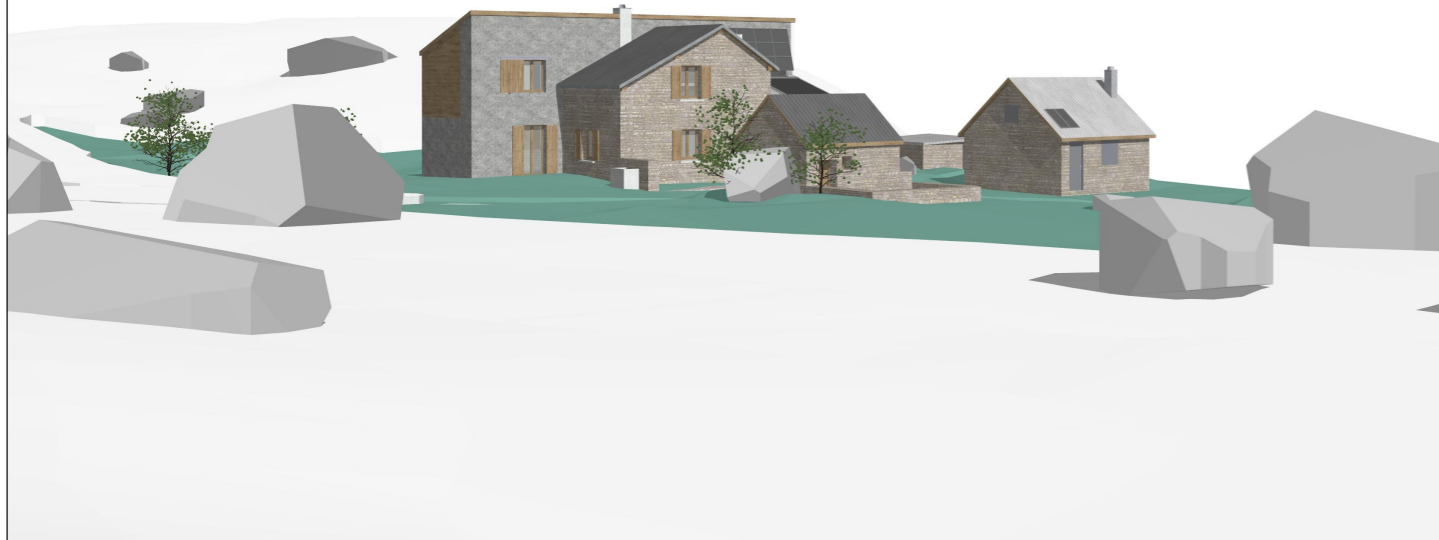
Vue du refuge et du hameau, depuis le Sud-Ouest - état projeté



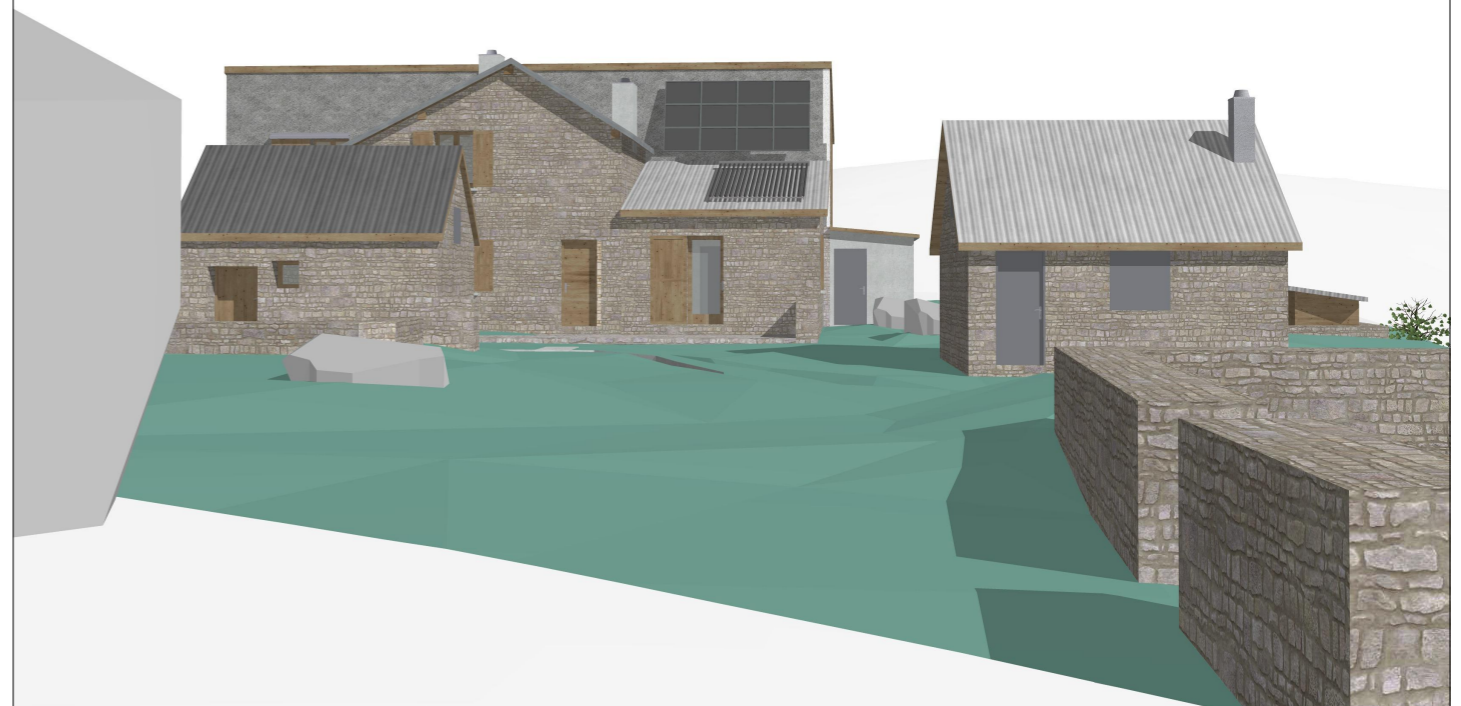
Vue depuis le Sud du refuge et du hameau - état projeté



Vue du refuge et du hameau, depuis le Sud-Ouest - état initial



Vue depuis le Sud du refuge et du hameau - état initial



Rénovation et Extension  
du **Refuge de La Lavey**

alt. : 1 797m  
St Christophe-en-Oisans  
Parc National des Ecrins

Demande de Permis  
de Construire  
**PC 6.3**

**Insertion Paysagère**  
Vues brutes

**FFCAM** - Fédération Française  
des Clubs Alpains et de Montagne

**Atelier 17c architectes**  
19, rue de la Cleyat - 38530 Barraux  
04.76.45.27.84 - atelier17c.pb@orange.fr

date : **07.06.2024**  
indice : **1**

échelle : -  
format : **A3**

## ANNEXE 2 : Rapport d'étude d'Assainissement Non Collectif – Aqu'ter

Rapport d'étude d'Assainissement Non Collectif  
APD – Avant Projet Définitif

**Construction de la filière d'assainissement du Refuge de la Lavey**

**Commune de Saint-Christophe-en-Oisans (38)**

Dossier n° : ASS202204-1057		Fédération Française des Clubs Alpins et de Montagne (FFCAM)		
Indice	Date	Objet	Rédacteur	Visa
Initial	26/02/2024		J. TESSIER	L. PLISSON
Indice 2	19/04/2024		J. TESSIER	L. PLISSON

## Fiche d'identification

Affaire	
Référence	ASS202204-1057
Demandeur	Fédération Française des Clubs Alpains et de Montagne (FFCAM) Monsieur le Président Nicolas Raynaud 24, avenue de la Laumière – 75019 Paris  contact : M. Christophe Bechet, ( AMO – Massif des Écrins /FFCAM) email : <a href="mailto:c.bechet@ffcam.fr">c.bechet@ffcam.fr</a> tél : 06 31 06 20 68
Situation	Refuge de la Lavey
Titre	Construction d'une filière d'assainissement
Mission	Etude de la filière d'Assainissement Non Collectif

## Table des matières

I Principe de la mission.....	5
II Description du projet.....	6
II.1 Localisation géographique.....	6
II.2 Caractéristiques du Refuge.....	7
II.3 Descriptif de la filière d'assainissement existante :.....	9
III Contexte environnemental.....	10
III.1 Topographie – Géomorphologie – Place disponible et accessibilité du site.....	10
III.2 Cadre Géologique général.....	11
IV Filière d'assainissement projetée.....	12
IV.1 Dimensionnement de la filière :.....	12
IV.2 Caractéristiques des filières projetées :.....	13
IV.3 Accessibilité, implantation et travaux.....	21
IV.4 Points à préciser.....	22
IV.5 Utilisation du rapport d'étude – Limites d'application.....	22

## Index des figures

Figure 1. Extrait carte IGN touristique.....	5
Figure 2. Extrait carte IGN topographique.....	6
Figure 3. Localisation zones envisagées pour implantation de filière.....	9
Figure 4. <i>Panorama de la zone nord</i> .....	10
Figure 5. Panorama de la zone Sud Est.....	10
Figure 6. (Source ECODOMÉO).....	15
Figure 7. Exemple (Source Ecodomeo).....	16



# I Principe de la mission

La présente mission traite d'un projet de construction d'une installation d'assainissement. Cette filière aura pour but de traiter les eaux usées générées par le refuge.

Elle est basée sur une étude géotechnique (mission de conception Phase Avant-Projet G2-AVP) réalisée par l'entreprise Kaéna Géotechnique (Référence dossier : 21.14889C) en date du 17/12/2021 ainsi qu'un rapport géotechnique G5 (non fourni) référencé 21.14771.

Des investigations ont été réalisées sur site (sondage à la pelle mécanique, essais pénétrométriques et essais d'infiltration).

Il conviendra de s'y référer. Certains aspects (géologie, hydrogéologie, etc) seront repris dans le présent rapport.

Les aspects relatifs aux risques d'inondation et risques géotechniques ne relèvent pas de cette étude.

## II Description du projet

### II.1 Localisation géographique

Le projet se situe en cœur du Parc National des Écrins (PNE) dans le massif de l'Olan. Le refuge est implanté au niveau du Plan de la Lavey, sur la commune de Saint-Christophe-en-Oisans, à une altitude de 1797 m.

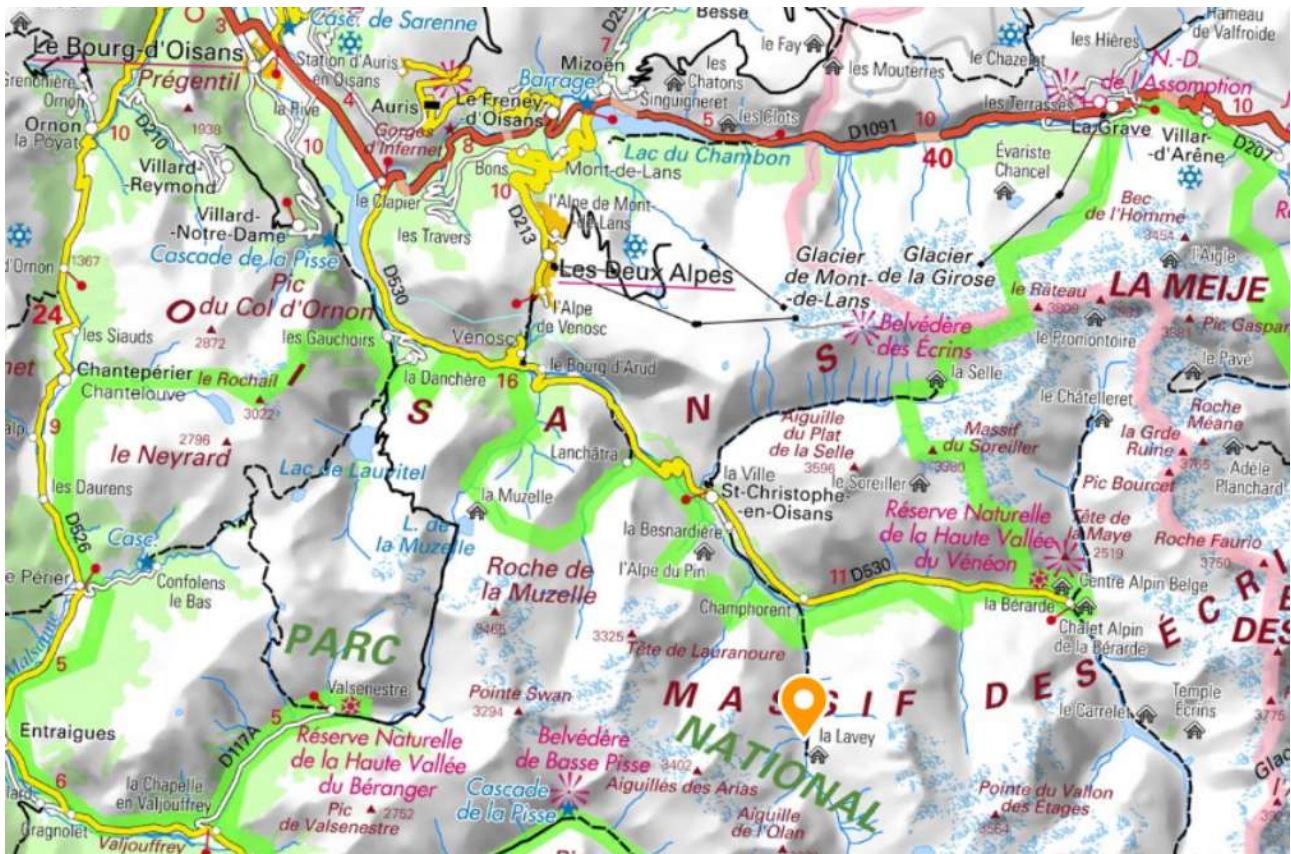


Figure 1. Plan de localisation (extrait de carte IGN touristique) ;

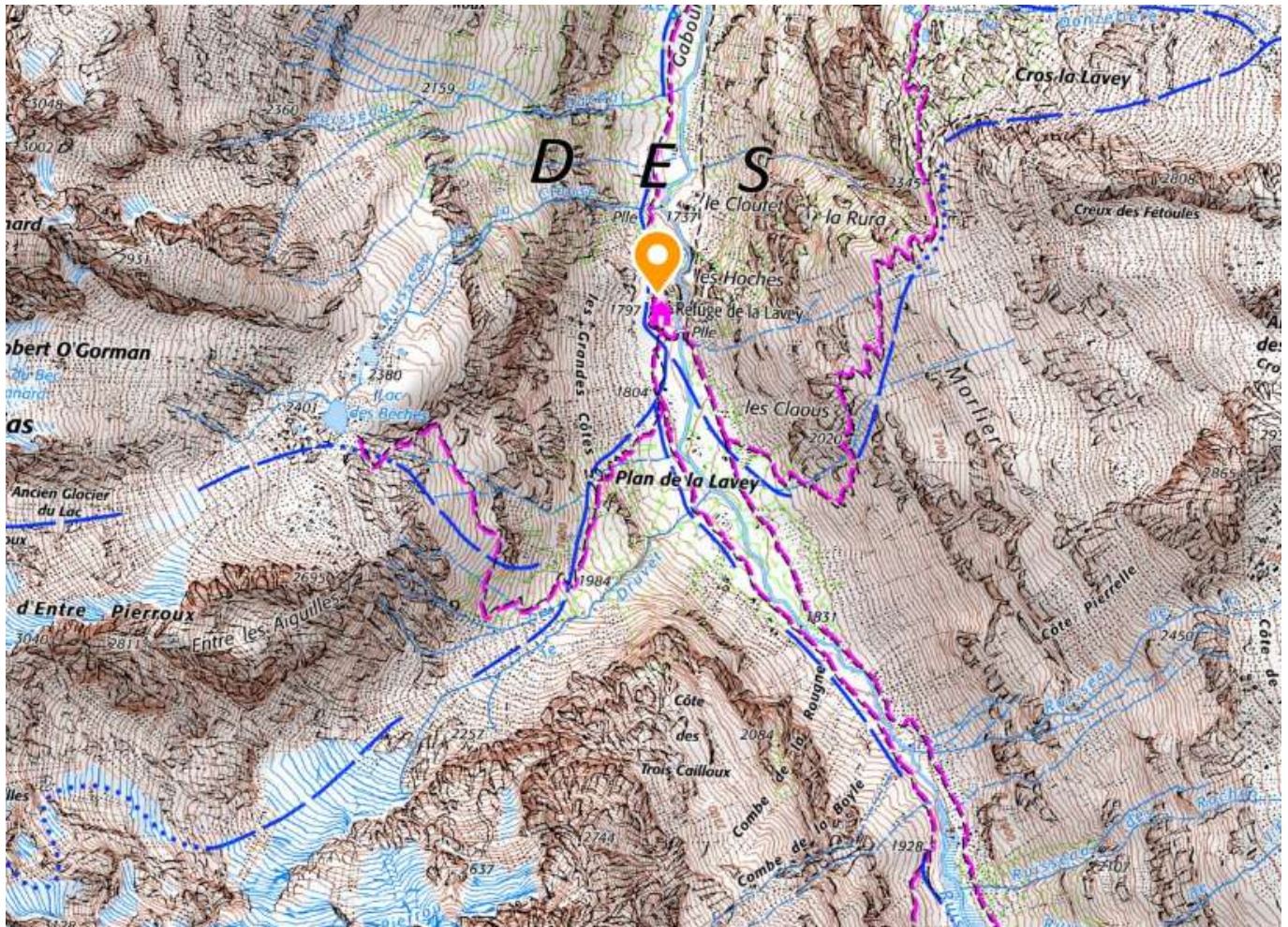


Figure 2. Extrait carte IGN topographique

Par ailleurs, le refuge se situe dans une zone de protection des milieux naturels :

- Site Natura 2000 ;
- Zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique : ZNIEFF ;
- Zone importante pour la conservation des oiseaux : ZICO.

Il est à souligner la présence d'une plante à préserver, dans le cadre du suivi du Parc National des Ecrins, la Dorine. Son emprise approximative a été représentée sur le plan en annexe. Il conviendra de limiter tout impact dans cette zone.

## II.2 Caractéristiques du Refuge

### II.2.a Accès au refuge :

Le refuge est accessible à pied, depuis un parking situé entre les hameaux de Champébran – Champhorent. Il faut compter 1h45 de marche pour rejoindre le refuge en été. Cet itinéraire ne présentant pas de difficulté particulière et est parfaitement à adapter à la randonnée en famille.

### II.2.b Activité et capacité d'accueil du refuge :

Dans le cadre de la rénovation, le refuge pourra mettre à disposition 44 couchages. Il sera gardé de mi-mars à mi-septembre. Le personnel sur place variera de 2 à 5 personnes. En plus de la randonnée et de l'alpinisme, il permettra de proposer un accueil pour la période de ski de printemps.

Pendant l'ensemble de l'ouverture, le refuge propose aussi de la restauration, boissons/repas aux randonneurs de passage à la journée.

### II.2.c Chiffres relatifs à la fréquentation envisagée du refuge ( données transmises par le maître d'ouvrage):

Données estimations de fréquentation FFCAM :									
Nombre de jours gardés au printemps =		57		Taux printemps =		19 %			
Nombre de jours gardés en été =		107		Taux été =		54 %			
Nombre de jours gardés total =		164		Taux annuel =		42 %			
Nombre de nuitées au printemps =		469		Ratio passages/nuitées printemps				2,0	
Nombre de nuitées en été =		2 562		Ratio passages/nuitées été				4,5	
Total de nuitées =		3 031		Ratio passages / «conso» printemps =				1,5	
Nombre de passages annuel dans le vallon =		12 444		Ratio passages / «conso» été =				3,0	
Bivouac du 01/07 au 31/08									
Effectif courant bivouac		10							
Effectif Ve-Sa mi-juillet mi-août bivouac		30							

II.2.d Caractéristiques des effluents:

Les eaux usées générées sont uniquement d'origine domestiques :

- Eaux vannes (EV) issues des toilettes ;
- Eaux ménagères (EM) issues des lavabos ;
- Eaux ménagères (EM) issues de la cuisine (restauration, vaisselle) ;

II.2.e Caractéristiques des volumes d'eaux par usage et par utilisation (les données de consommation d'eau ont été travaillées par la MOE et la MOA):

	HYPOTHESES Conso estimée L/pers
Gourde + lavage mains	4
Prépa repas / boisson / plonge SOIR	5
Prépa repas / boisson / plonge MATIN	3
Prépa repas / boisson / plonge « conso journée »	5
Repas « hors sac » bivouac SOIR	4
Repas « hors sac » bivouac MATIN	2
Toilette (au gant, dents, etc)	3
Gardiens/Berger (WC sec)	50
REFUGE – entretien, nettoyage, lave linge, etc	100

II.3 Descriptif de la filière d'assainissement existante :

La filière d'assainissement actuelle est sommaire. Selon les dires des gardiens, elle se compose d'un unique prétraitement, à savoir une fosse toutes eaux en béton. De cette fosse, les eaux usées prétraitées sont rejetées directement dans le cours d'eau situé à l'Est du refuge, le ruisseau de la Muande.

### III Contexte environnemental

#### III.1 Topographie – Géomorphologie – Place disponible et accessibilité du site

Le projet se situe dans le vallon de la Muande, en rive gauche du torrent.

Le refuge est positionné sur une terrasse fluvio-glaciaire, en bordure d'une zone un peu plus pentue, plongeant vers le cours d'eau.

En amont, une large zone d'éboulis surplombe le refuge.

Deux zones sont envisagées pour l'implantation d'une filière avec :

- une zone possible en partie nord, entre le substratum rocheux affleurant et le projet, en bordure du talus ;
- une zone plus éloignée, côté sud, dans des pentes modérées (Cf. figures ci-dessous).

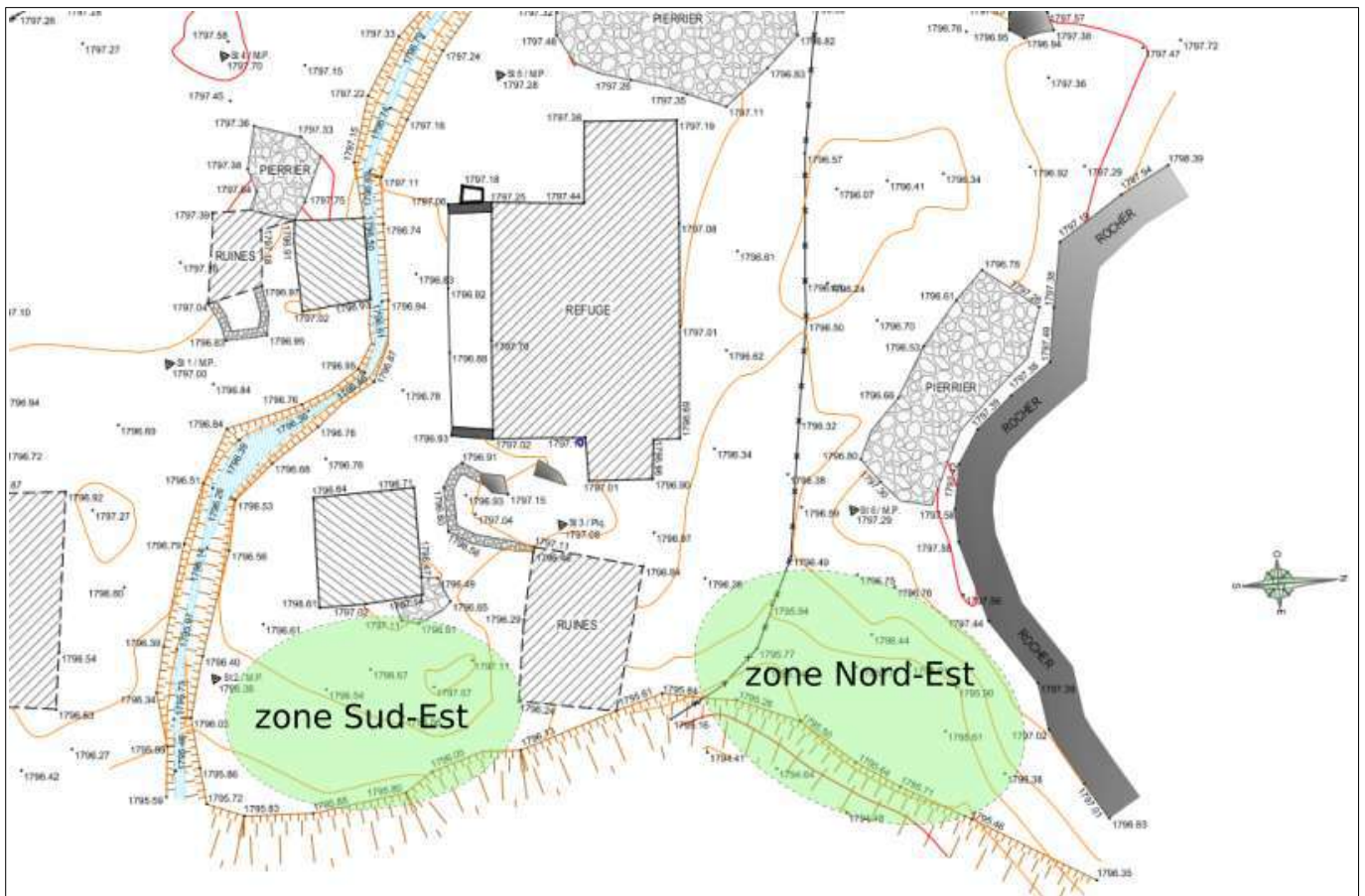


Figure 3. Localisation zones envisagées pour implantation de filière



Figure 4. Panorama de la zone nord



Figure 5. Panorama de la zone Sud Est

## III.2 Cadre Géologique général

La zone d'étude est située sur une terrasse fluvio-glaciaire reposant sur le substratum rocheux (gneiss amphibolitique) affleurant en bordure nord du refuge. De nombreux amas de blocs (pierriers et éboulis) sont visibles, dès la surface.

On retiendra principalement, les contraintes suivantes :

- substratum gneissique affleurant à – de 10 m du projet, en partie nord ;
- couverture morainique/éboulis de faible épaisseur en partie nord : le sondage P3 indique la présence de matériaux de couverture sur au moins 1,5 m d'épaisseur sur cette zone
- la présence d'importantes venues d'eau dans les matériaux de couverture et au contact entre cette couverture et le substratum rocheux ;
- une zone humide est également présente en partie nord du refuge.

Les captages du refuge se situent en amont hydraulique du projet d'assainissement et il n'est donc pas impacté.

Aucun autre point d'alimentation en eau potable n'est référencé dans les environnants proches.

### Conclusions:

Il conviendra donc :

- de réaliser les travaux hors période pluvieuse et fonte nivale.
- de respecter les règles constructeurs de la filière d'assainissement vis-à-vis de la présence d'eau dans le sous-sol
- de prendre en compte les venues d'eau en phase travaux comme en phase d'exploitation.

Aucun risque sanitaire ni environnemental ne sont à mentionner.



## IV Filière d'assainissement projetée

Pour ce projet de rénovation, la FFCAM a pris la décision d'installer 3 toilettes sèches, un pour les gardiens et 2 pour le public ainsi qu'un urinoir. Aucune douche n'est prévue pour les randonneurs sauf pour les gardiens.

La cabane du berger sera également équipée d'une toilette sèche et disposera d'une douche.

L'implantation reste de l'ordre de l'étude d'Avant Projet Définitif. Lors des phases d'exécution, elle pourra être adaptée, en fonction des contraintes de terrain, après notre accord.

### IV.1 Dimensionnement de la filière :

A/ Caractéristiques des volumes d'eau consommés par jour, par type de fréquentation et par secteur (données par le maître d'ouvrage) :

Profils « types » de conso									
	HYPOTHESES Conso estimée L/pers		Gardiens / Berger	REFUGE (entretien, nettoyage, LL, etc) par JOUR	Nuitée « demi- pension »	Bivouac	Passage à la journée « avec conso »	Passage à la journée Sans conso	
Gourde + lavage mains	4				4	4	2	2	
Prépa repas / boisson / plonge SOIR	5				5				
Prépa repas / boisson / plonge MATIN	3				3				
Prépa repas / boisson / plonge « conso journée »	5								
Repas « hors sac » bivouac SOIR	3					3			
Repas « hors sac » bivouac MATIN	3					3			
Toilette (au gant, dents, etc)	3				3	3			
Gardiens/Berger ( WC sec)	50		50						
REFUGE – entretien, nettoyage, lave linge, etc	100			100					
			50	100	15	13	5	2	
			6	1	44	30	55	69	
TOTAL conso L/jour par groupe de « profil type » :			300,00	100,00	660,00	390,00	275,00	138,00	
TOTAL conso L/jour journée « pic » ETE :			1 863,00						

La consommation moyenne nationale en eau potable pour une personne est de 150 litres/ jour. Ce volume correspond à un équivalent habitant (EH).

Selon la base de dimensionnement (voir tableau ci-dessus) retenue soit une la charge hydraulique journalière de 1863 litres/jour d'eaux usées, la filière devra être dimensionnée pour 12,5 EH .

## IV.2 Caractéristiques des filières projetées :

Suite à l'étude d'Avant Projet, il a été décidé de privilégier la mise en place de filière par phytoépuration et de toilettes sèches à séparation des urines.

### IV.2.a Phytoépuration

#### A/ Bac à graisses :

Mise en place d'un bac à graisses dans la cuisine sous l'évier (100 litres).

Ce bac à graisses pré-traitera uniquement les eaux issues de la cuisine.

#### B/ Filtres verticaux :

Le traitement proposé ci-dessous correspond en partie à la filière implantée au refuge Garelli (programme Alcotra) où l'ensemble des eaux usées (Eaux Ménagères et Eaux Vannes) est traité par phytoépuration.

Ici, les eaux traitées seront les eaux ménagères ainsi que les urines issues des toilettes sèches.

Le dimensionnement retenu en surface filtrante nécessaire est de 1,2 m<sup>2</sup>/EH.

Le système est constitué de bassins de types filtres plantés fonctionnant avec des espèces végétales alpines d'une surface totale de 15 m<sup>2</sup> pour 12,5 EH décomposé en un étage de 2 bassins de la façon suivante :

<i>Dimensionnement des bassins</i>	<i>Type d'écoulement des eaux</i>	<i>Surface filtrante nécessaire</i>
2 bassins	Vertical	15 m <sup>2</sup> (7,5 m <sup>2</sup> / bassin)

#### 1/ Composition du filtre :

##### A.1 Écoulement vertical –2 bassins séparés

Les bassins sont alimentés alternativement toutes les semaines par un système de vannes de répartition.

Les bassins d'une profondeur de 80 cm sont composés comme suit :

- Revanche : 20 cm ;
- Couche pour réduire le gel : 10 cm de BRF (bois raméal fragmenté) ;
- Couche filtrante : 10 cm de graviers 0-6 mm roulés-lavés (pas de sable réduire le gel) ;
- Couche de transition : 30 cm de graviers 4-8 mm concassées-lavés ;
- Couche drainante : 20 cm de graviers 20-40 mm roulés lavés avec tuyau fendu.

Une géomembrane étanche d'une épaisseur supérieure ou égale à 1 mm tapissera le fond de fouille de chaque filtre et remontera sur les bords. Elle devra présenter des caractéristiques de résistance à la traction et aux rayons UV.

Nous recommandons les membranes EPDM ayant une garantie vingtennale.

L'INRAE (l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) a travaillé sur une filière de ce type, couplé à de la pédo-épuration au refuge d'Ayous situé dans le Parc National des Pyrénées. Les résultats sur le traitement des eaux usées est très satisfaisant. La période d'ouverture printanière (avec la contrainte de la présence de neige sur les filtres) n'a pas engendré de difficulté particulière.

La période d'ouverture de mi-mars jusqu'à la fonte des neiges peut présenter des incertitudes quant au bon fonctionnement de la filière vis-à-vis du gel et de la neige. Pour les limiter, il conviendra de déposer une couche de 10 cm de BRF à la surface des filtres. Il pourra être envisagé par sécurité, de disposer un câble chauffant dans la première couche de graviers.

Les réseaux d'acheminement des eaux usées devront être conçus afin d'avoir la pente la plus élevée en fonction de la topographie du site. Les arrivées au-dessus des filtres pourront être protégées par des caissons en inox.

## 2/ Implantation :

Pour cette solution de traitement, une seule implantation est retenue. Il s'agira d'implanter la filière au Nord Est du refuge. Les eaux usées pourront facile rejoindre gravitairement cette zone.

La zone située à l'Est de la cabane du berger présente peu de dénivelé négatif avec le refuge, cette implantation ne paraît pas adaptée à recevoir la filière ou alors d'importants travaux de terrassement seront nécessaires.

Un schéma d'implantation des ouvrages à construire est présenté en annexe.

## 3/ Suivi :

Pour le suivi du bon fonctionnement et du rendement épuratoire de la filière, nous proposons :

- de trouver un accord avec le Parc des Écrins afin qu'il se charge d'effectuer un suivi annuel de la flore et de son développement sur les filtres plantés.

- de faire réaliser annuellement, sur une période de 3 ans, des prélèvements sur les eaux brutes et traitées avec analyses en laboratoire ( l'INRAE n'ayant pas les financements pour suivre ce projet, le Bureau d'études E=ANC<sup>2</sup> ainsi que le BE Aqu'ter proposent chacun une prestation de suivi.)

## 4/ Coût estimatif

Le coût estimé de la filière est de 25 000 HT (non pris en compte : possibilité d'utiliser les granulats du site ainsi que la pelle mécanique mise à disposition pour les travaux).

### IV.2.b

### Toilettes sèches

Nous proposons pour ce projet deux types de toilettes : un système adapté pour recevoir du public et un autre système pour les gardiens/berger :

#### 1/ Public :

Nous projetons la solution de toilettes sèches munis d'un tapis roulant incliné placé à la verticale des toilettes ; les matières fécales sont ainsi séparées des urines.

Le mouvement du tapis est assuré par une transmission mécanique simple et rustique, actionné par l'utilisateur via une pédale.

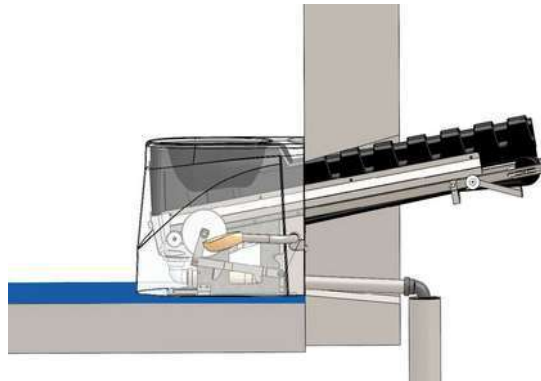


Figure 6. (Source ECODOMÉO)

Les matières évacuées par le tapis sont acheminées dans un local de stockage /compostage /maturation.  
Les urines sont évacuées dans le réseau des eaux ménagères.

Le coût estimé pour la fourniture et pose de 2 toilettes sèches hors gros et petit œuvre (maçonnerie, menuiserie, carrelage /faïence) est de 15 000 euros.

#### Gestion de la ventilation :

Il est indispensable de gérer les flux d'air entre les toilettes et le ou les locaux de stockage. Un système de ventilation doit garantir une gestion optimale des flux afin de ne générer aucune nuisance olfactive.

Il conviendra de créer un unique cheminement d'air depuis les wc secs vers le local de stockage, et donc de mettre en place :

- des portes étanches à l'air,
- un extracteur mécanique et/ou électrique dans le local stockage,
- une gestion de l'étanchéité à l'air des locaux, ...

#### Locaux de stockage :

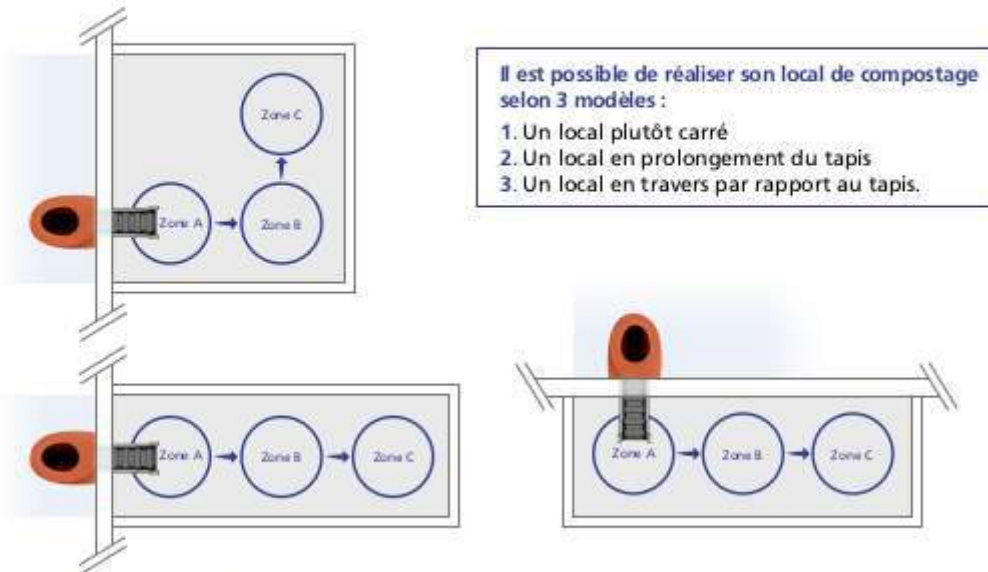
L'accès au local doit permettre l'entretien et la maintenance du tapis et des pièces mécaniques constituant le système ainsi que de procéder aux opérations de vidange/ évacuation des matières vers un point de traitement ou valorisation (compostage).

Nous proposons 2 types de procédés pour la manutention et le stockage des matières fécales.

1- Stockage des matières fécales au sol.

La surface au sol est décomposée en 3 zones :

- zone A : zone située sous l'extrémité du tapis, où arrivent les matières fraîches.
- zone B : la première zone de compostage sans arrivée de matières fraîches.
- zone C : zone de compostage final et de stockage avant évacuation.



Une surface au sol de 3 m<sup>2</sup> est alors nécessaire pour avoir suffisamment de place pour le compostage et pour rendre les interventions d'entretien moins fréquentes et plus faciles.

### POINTS PARTICULIERS DU LOCAL DE COMPOSTAGE

La Zone C doit être proche de la porte d'accès à la pièce de compostage pour permettre de sortir facilement le compost, sans nécessairement avoir besoin d'entrer.

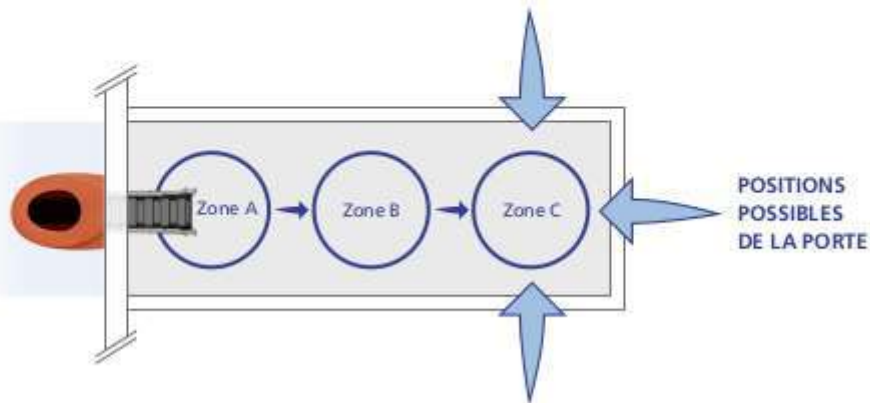


Figure 7. Exemple (Source Ecodomeo)

#### 1/ Gardiens et berger :

Nous proposons un toilette sèche à litière avec séparation des urines.

Il sera composé d'un seau en inox pour recevoir les matières, d'un séparateur d'urines, d'un compartiment de stockage de copeaux de bois. Le box où sera disposé le seau devra être ventilé afin d'éviter des nuisances olfactives.

Les matières issues des wc pourront être déposées dans le local de stockage des wc destinés au public.

Le coût estimé pour la fourniture et pose de 2 toilettes sèches hors gros et petit œuvre est de 2000 euros.



Figure 8. Exemple de toilette à séparation d'urine

#### IV.2.c *Évacuation des eaux traitées*

Les eaux usées traitées (après filtres plantés) seront évacuées dans le cours d'eau situé à l'Est du refuge, le ruisseau de la Muande. En effet, la zone située au Nord Est du refuge présente de fortes circulations d'eaux où un ennoisement du système d'infiltration est prévisible.

### IV.3 Accessibilité, implantation et travaux

#### IV.3.a *Accessibilité*

Le refuge n'est pas accessible en véhicule. En phase travaux, l'hélicoptage sera l'unique possibilité des transports de matériel.

### IV.3.b Règles d'implantation

Les articles 6 et 7 de l'arrêté du 21 juillet 2015 stipulent que les installations de traitement des eaux usées doivent être conçues et implantées de manière à préserver les riverains des nuisances (olfactives, visuels) de voisinage, des risques sanitaires et de sécurité.

La zone d'implantation de la filière ne devra pas être une zone d'hélicoptage (livraison, secours) ni dans la zone de protection de la Dorine, plante qui fait partie de la centaine d'espèces d'intérêt patrimonial que le Parc National des Écrins suit (voir schémas d'implantation des ouvrages à construire).

### IV.3.c Mise en œuvre

La mise en place des ouvrages nécessitera l'utilisation d'une pelle araignée. L'utilisation d'un brise roche sera nécessaire pour des blocs pluri-métriques.

Les matériaux de remblaiement des tranchées et des ouvrages pourront être prélevés sur site (concassage):

- déblais issus des excavations à privilégier.

Concernant les travaux de terrassement :

-la strate herbacée avec un premier horizon de terre végétale devra être décapée et ré-utilisée afin d'assurer une remise en état soigné. Comme indiqué par le Parc National des Écrins, aucune pelouse ou gazon ne devra être semé.

- une attention particulière devra être prise vis-a-vis des nombreuses circulations d'eaux souterraines et de surface. Un système de drainage des plateformes (filtres plantés) en périphérie des ouvrages sera à étudier en phase ultérieure.

Afin de re-végétaliser la zone de travaux, il pourra être entrepris de disperser sur une épaisseur de 5 cm, du foin vert coupé à altitude similaire du refuge. Cette opération pourra être effectuée en automne.

Des informations complémentaires pourront être fournies par Mme Stéphanie Huc, chargée de mission au conservatoire botanique.

Les déblais non réutilisables pour la mise en œuvre des ouvrages seront évacués dans une zone à définir, en accord avec le Parc National des Ecrins.

## IV.4 Points à préciser

Le Parc des Écrins devra se positionner sur la définition d'une aire pouvant recevoir les matières fécales en fin de compostage.

## IV.5 Utilisation du rapport d'étude – Limites d'application

Le présent rapport et ses annexes constituent un ensemble indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait en être faite lors d'une communication ou à l'issue d'une reproduction partielle sans l'accord écrit du bureau d'études AQU'TER ne saurait en aucun cas engager la responsabilité de celui-ci.

D'autre part, ce document ne garantit pas la réalisation conforme des travaux d'aménagement.

Cette étude correspond à de l'Avant Projet Définitif. La présente étude ainsi que les plans associés ne constituent pas un rapport de Maîtrise d'œuvre. Si lors des phases d'exécution, des éléments nouveaux étaient observés, il conviendra de nous en alerter afin d'adapter nos préconisations.

Les aspects relatifs aux risques d'inondation et risques géotechniques ne relèvent pas de cette étude et devront être appréhendés par ailleurs.

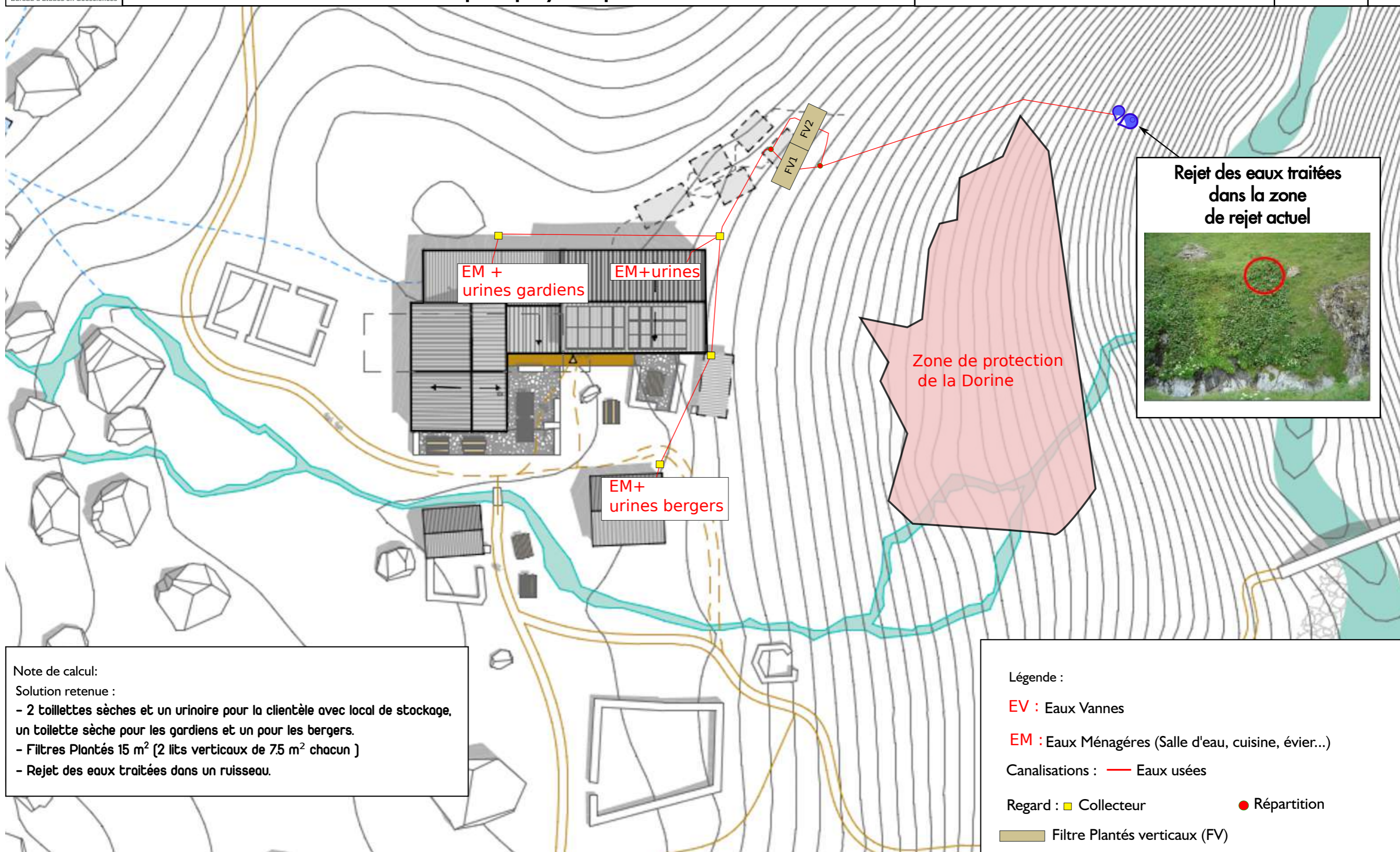
La société en charge des travaux prendra sous sa responsabilité toutes modifications aux aménagements projetés qui auront une incidence sur les performances épuratoires et le bon fonctionnement des ouvrages dans le temps.

Nous rappelons que la présence d'un technicien du SPANC est obligatoire avant remblaiement des ouvrages pour l'obtention du certificat de conformité.

Liste des annexes :

- Schéma d'implantation des ouvrages à construire : phytoépuration - V2





Note de calcul:  
Solution retenue :  
- 2 toilettes sèches et un urinoire pour la clientèle avec local de stockage, un toilette sèche pour les gardiens et un pour les bergers.  
- Filtres Plantés 15 m<sup>2</sup> (2 lits verticaux de 7.5 m<sup>2</sup> chacun )  
- Rejet des eaux traitées dans un ruisseau.

- Légende :
- EV : Eaux Vannes
  - EM : Eaux Ménagères (Salle d'eau, cuisine, évier...)
  - Canalisations : — Eaux usées
  - Regard : ■ Collecteur ● Répartition
  - Filtre Plantés verticaux (FV)

## ANNEXE 3 : Etude de faisabilité- Axenne

# ETUDE DE FAISABILITE

## Opération de Production Décentralisée d'Électricité à partir d'Énergie Renouvelable

### REFUGE DE LA LAVEY

**Site** Refuge de la Lavey  
**Application** Refuge  
**Commune** Saint-Christophe-en-Oisans  
  
**Propriétaire** FFCAM  
24 avenue Laumière  
75 019 PARIS



Latitude : 45°53'55  
Longitude : 6°12'22  
Altitude : 1 797 m

**Visite sur site effectuée le :** 19-04-2022

**Solution photovoltaïque :** 3 Générateurs photovoltaïques d'une puissance totale de 9 kWc  
**Montant de l'installation :** 109 428,00 € TTC

#### Remarques :

Les trois champs photovoltaïques sont complémentaires tout au long de l'année. Le premier champ photovoltaïque de 4 500 Wc sur la toiture du refuge fonctionnera du mois d'avril à octobre inclus. En hiver, ce champ photovoltaïque est couvert de neige et ne produit pas d'énergie. Le champ photovoltaïque en façade de 2 700 Wc apporte une partie de l'énergie qui est consommée en hiver (éclairage du refuge non gardé, une partie des circulateurs, radio de secours et maintien en charge du parc batterie). Ce champ incliné à 90° produit le maximum d'énergie en hiver, mais apporte également un peu d'énergie en été. Enfin, le dernier champ photovoltaïque de 1 800 Wc sur la cabane apporte le complément d'énergie en hiver et au printemps, notamment au mois de mars lorsqu'il est possible qu'il reste de la neige sur le refuge au moment où le refuge ouvre de nouveau ses portes.

Version V5	Date de modification 14 mai 2024	Dossier réalisé pour le compte de :
 <p>80, cours Docteur Long - 69 003 LYON Tél/mob 04 37 44 15 83 – 06 70 27 73 84 hl.gal@axenne.fr SARL au capital de 28 425 € RCS LYON 419 024 302 Siret 419 024 302 00061 APE 742C</p>		 <p>FFCAM - 24 avenue Laumière 75019 PARIS Tél. : 01.53.72.87.00 – Fax : 01.42.03.55.60 Affaire suivie par : Mathilde Dassonville ☎ 06 82 50 38 73</p>

## SYNTHESE

Nous présentons ici la synthèse de la solution photovoltaïque.

Consommation électrique journalière	21 081Wh/jour (au mois d'août)
Couverture des besoins annuels	100%
Générateurs photovoltaïques	<b>9 kWc au total</b>
En toiture orientation 175° inclin. 31°	4,5 kWc
En façade 175° inclin. 90°	2,7 kWc
Sur la cabane 175° inclin. 40°	1,8 kWc
Parc batterie	2657 Ah en C120 soit 5 jours d'autonomie
Onduleur	7 kVA
Chargeur	120 VA
Groupe électrogène (non chiffré)	5 kVA
<b>Montant de l'installation</b>	<b>109 428,00 €TTC</b>

# SOMMAIRE

<b>SYNTHESE</b>	<b>2</b>
<b>1. BESOINS ENERGETIQUES DU REFUGE</b>	<b>4</b>
1.1. COEFFICIENT DE SAISONNALITE	5
1.2. MASQUE EN TOITURE	7
<b>2. BILAN DE LA PRODUCTION MENSUELLE DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE</b>	<b>8</b>
<b>3. PLAN DES LOCAUX TECHNIQUES</b>	<b>10</b>
<b>4. SCHEMA ELECTRIQUE DE PRINCIPE</b>	<b>11</b>
<b>5. MONTANT DES INVESTISSEMENTS</b>	<b>13</b>

# 1. BESOINS ENERGETIQUES DU REFUGE

ECLAIRAGE								
Localisation	Cmd	Nombre	Type de luminaire	Tension d'alimentation (V)	Puissance (Watts)	Durée d'utilisation (heure)	Consommation (Wh/jour)	Puissance appelée (Watts)
<b>Rez-de-chaussé</b>								
SAS/Vest./Séchoir		3	led E27	230 V	13 W	5,0	195,0	39 W
Dégagement Pub RdC		1	led E27	230 V	13 W	5,0	65,0	13 W
WC Sec		2	led E27	230 V	6 W	10,0	120,0	12 W
Sanitaire public		4	tube led S19	230 V	9 W	5,0	180,0	36 W
Local entretien		1	led E27	230 V	6 W	0,5	3,0	6 W
Local technique élec		1	led E27	230 V	6 W	0,5	3,0	6 W
Local déchets		1	led E27	230 V	13 W	1,0	13,0	13 W
Local batteries		1	led E27	230 V	13 W	0,5	6,5	13 W
							0,0	0 W
Salle commune		4	led E27	230 V	13 W	6,0	312,0	52 W
Réchaud		1	led E27	230 V	6 W	1,5	9,0	6 W
Accueil bureau bar		1	led E27	230 V	13 W	6,0	78,0	13 W
Accueil bureau bar		1	tube led S19	230 V	9 W	6,0	54,0	9 W
Cuisine		3	led E27	230 V	13 W	6,0	234,0	39 W
Cuisine		2	tube led S19	230 V	9 W	6,0	108,0	18 W
Dégagement Cuisine		1	led E27	230 V	13 W	6,0	78,0	13 W
Réserve 1		2	led E27	230 V	13 W	2,0	52,0	26 W
Réserve 2		1	led E27	230 V	13 W	1,0	13,0	13 W
Local technique ECS		1	led E27	230 V	6 W	0,5	3,0	6 W
							0,0	0 W
Escalier Public		3	led E27	230 V	13 W	4,0	156,0	39 W
Escalier Gardiens		2	led E27	230 V	13 W	1,5	39,0	26 W
							0,0	0 W
							0,0	0 W
<b>Etages</b>								
Dortoir 6p		1	led E27	230 V	13 W	3,0	39,0	13 W
Dortoir 8p		1	led E27	230 V	13 W	3,0	39,0	13 W
Dortoir 12p		2	led E27	230 V	13 W	3,0	78,0	26 W
Dortoir 18p		3	led E27	230 V	6 W	3,0	18,0	6 W
Dégagement Public		1	led E27	230 V	13 W	4,0	52,0	13 W
							0,0	0 W
Ch. Gardiens		2	led E27	230 V	6 W	3,0	36,0	12 W
Ch. Aides 1		1	led E27	230 V	13 W	2,0	26,0	13 W
Ch. Aides 2		1	led E27	230 V	13 W	2,0	26,0	13 W
							0,0	0 W
Rangement		1	led E27	230 V	6 W	0,5	3,0	6 W
Dégagement gardiens		1	led E27	230 V	13 W	3,0	39,0	13 W
Toilette gardiens		1	led E27	230 V	6 W	1,0	6,0	6 W
Sanitaire gardiens		1	tube led S19	230 V	9 W	2,0	18,0	9 W
							0,0	0 W
							0,0	0 W
<b>Niveau inférieur</b>								
Local technique WC		0	led E27	230 V	6 W	0,0	0,0	0 W
Local technique rangement		1	led E27	230 V	6 W	0,5	3,0	6 W
Local technique groupe élec.		1	led E27	230 V	6 W	0,5	3,0	6 W
							0,0	0 W
							0,0	0 W
<b>Extérieur</b>								
Façade sud cuisine		1	led E27	230 V	6 W	2,0	12,0	6 W
Porche d'entrée sud		2	led E27	230 V	6 W	3,0	36,0	12 W

FROID							
Désignation	Lieu	Nombre	Détail/modèle	Capacité totale réfrigération/congélation	Tension d'alimentation (V)	Consommation (Wh/jour)	Puissance appelée (Watts)
Armoire froid positive	Cuisine	2	Liebherr FRP0vg 6501	597 l dimension : 212,0 / 70,0 / 83,0 cm	230 V	1 855	1600 W
Armoire froid négative	Cuisine	2	Liebherr GNS235.21 BLPerformance	370 l dimension : 195,0 / 70,0 / 75,0 cm	230 V	1 581	700 W
Tireuse bière	Bar	1	la journée uniquement		230 V	770	770 W

EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DIVERS								
Désignation	Lieu	Nombre	Détail	Tension d'alimentation (V)	Puissance (Watts)	Durée d'utilisation (heure)	Consommation moyenne pour un mois* (Wh/jour)	Puissance appelée (Watts)
Traitement LV		1	1800l/jour en pic estival	230 V	30 W	24,0	720	30 W
Pompe Surpresseur		1	60l/hres 3m <sup>3</sup> /heure	230 V	750 W	1,0	750	750 W
Pompe AEP cuves		0	supprimée, compris dans le surpresseur	230 V	80 W	3,0	0	0 W
Chaudière		1		230 V	15 W	24,0	461	15 W
Circulateur ECS solaire		1		230 V	40 W	8,0	320	40 W
Circulateurs chaudière		1		230 V	30 W	8,0	240	30 W
Circulateur radiateurs		1		230 V	40 W	24,0	960	40 W
VMC - WC secs + séchoir		1		230 V	70 W	24,0	1 680	70 W
VMC - gardiens		1		230 V	13 W	24,0	312	13 W
Box internet 4G		1		230 V	30 W	24,0	720	30 W
Ordinateur		1		230 V	35 W	16,0	560	35 W
TPE CB		1		230 V	15 W	16,0	240	15 W
Imprimante laser		1		230 V	800 W	0,25	200	800 W
Radio VHF gardiens		1		230 V	5 W	24,0	120	5 W
Borne VHF public secours		1		230 V	5 W	24,0	120	5 W
Téléphone fixe		1		230 V	3 W	24,0	65	3 W
Enceinte Logitech		1		230 V	25 W	8,0	200	25 W
Radio FM		1		230 V	6 W	8,0	48	6 W
							0	0 W
Four		1	Four gaz partie régulation ventilation	230 V	0 W	24,0	0	0 W
Hotte		1		230 V	111 W	4	444	111 W
Lave-vaisselle		1	Entrée eau chaude solaire	230 V	2 000 W	16 cycles de 3 min	3 165	2000 W
Lave-linge		1	Entrée eau chaude solaire	230 V	350 W	2	700	350 W
Mixeur soupe		1		230 V	440 W	0,1	44	440 W
Hachoir		1		230 V	400 W	0,5	200	400 W
Trancheuse jambon		1		230 V	240 W	0,5	120	240 W
Robot ménager		1		230 V	300 W	1	300	300 W
Pétrain		1		230 V	300 W	1	300	300 W
Aspirateur		1		230 V	900 W	0,5	450	900 W
Chargeurs portable		6		230 V	25 W	4	600	150 W

	Foisonnement	Consommation (Wh/jour)	Puissance appelée (W)
Eclairage	0,8	2 119	437
Froid	1	4 006	3 070
Equipements électriques	0,4	14 038	2 841
Consommation de l'onduleur, des régulateurs et de l'auto décharge batterie :			
		918	

Consommation journalière totale en juillet (rendement onduleur inclus) :	21 081 Wh/jour
PUISSANCE APPELEE ONDULEUR (coéf. de foisonnement inclus) :	6 348 W

## 1.1. COEFFICIENT DE SAISONNALITE

Une valeur de fonctionnement est appliquée pour répartir la consommation journalière sur 5 périodes horaires dans la journée (matin, midi, après-midi, soir et nuit). Cela permet de répartir la consommation pendant la journée. Cela un impact direct sur la charge et la décharge de la batterie.

	Matin	Midi	Après-midi	Soir	Nuit
Traitement UV		1		1	
Pompe Surpresseur		1		1	
Pompe AEP cuves		1		1	
Chaudière	1	1	1	1	1
Circulateur ECS solaire	1	1	1	1	1
Circulateurs chaudière	1	1	1	1	1
Circulateur radiateur	1	1	1	1	1
VMC – WC secs + s	1	1	1	1	1
VMC – gardiens	1	1	1	1	1
0					
Box internet 4G	1	1	1	1	1
Ordinateur	1	1	1	1	
TPE CB	1	1	1	1	
Imprimante laser	1		1		
Radio VHF gardiens	1	1	1	1	1
Borne VHF public se	1	1	1	1	1
Téléphone fixe	1	1	1	1	1
Enceinte Logitech	1	1	1	1	
Radio FM	1	1	1	1	
0					
Four	1	1	1	1	
Hotte		1		1	
Lave-vaisselle	1	1		1	
Lave-linge			1		
Mixeur soupe		1		1	
Hachoir		1		1	
Trancheuse jambon		1		1	
Robot ménager	1	1	1	1	
Pétrain	1				
Aspirateur	1				
Chargeurs portable	1		1	1	1

Un coefficient est appliqué chaque mois pour tous les équipements afin de reconstituer une courbe de consommations mensuelle. La valeur de 1 signifie que l'équipement fonctionne 100% dans le mois considéré, une valeur de 50% signifie que l'équipement est deux fois moins utilisé (début de saison ou fréquentation du refuge moins importante).

FROID	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Armoire foid positive	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0	0
Armoire froid négative	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0	0
Tireuse bière	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	0	0

EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DIVERS	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
	Traitement UV	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Pompe Surpresseur	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5	0	0	0
Pompe AEP cuves	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	1	0	0	0
Chaudière	0,8	0,8	1	1	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8
Circulateur ECS solaire	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Circulateurs chaudière	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Circulateur radiateurs	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
VMC – WC secs + séchoir	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
VMC – gardiens	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0												
Box internet 4G	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
Ordinateur	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	
TPE CB	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Imprimante laser	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Radio VHF gardiens	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Borne VHF public secours	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Téléphone fixe	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Enceinte Logitech	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Radio FM	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0												0
Four	0	0	0,5	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Hotte	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5	0	0	
Lave-vaisselle	0	0	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5	0	0	0
Lave-linge	0	0	0	0	1	1	1	1	0,3	0	0	0
Mixeur soupe	0	0	0,3	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Hachoir	0	0	0	0,5	0,8	1	1	1	0,3	0	0	0
Trancheuse jambon	0	0	0	0,5	0,8	1	1	1	0,3	0	0	0
Robot ménager	0	0	0	0,5	0,8	1	1	1	0,3	0	0	0
Pétrain	0	0	0	0,5	1	1	1	1	0,3	0	0	0
Aspirateur	0	0	0	0,5	1	1	1	1	0,3	0	0	0
Chargeurs portable	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	0	0	0

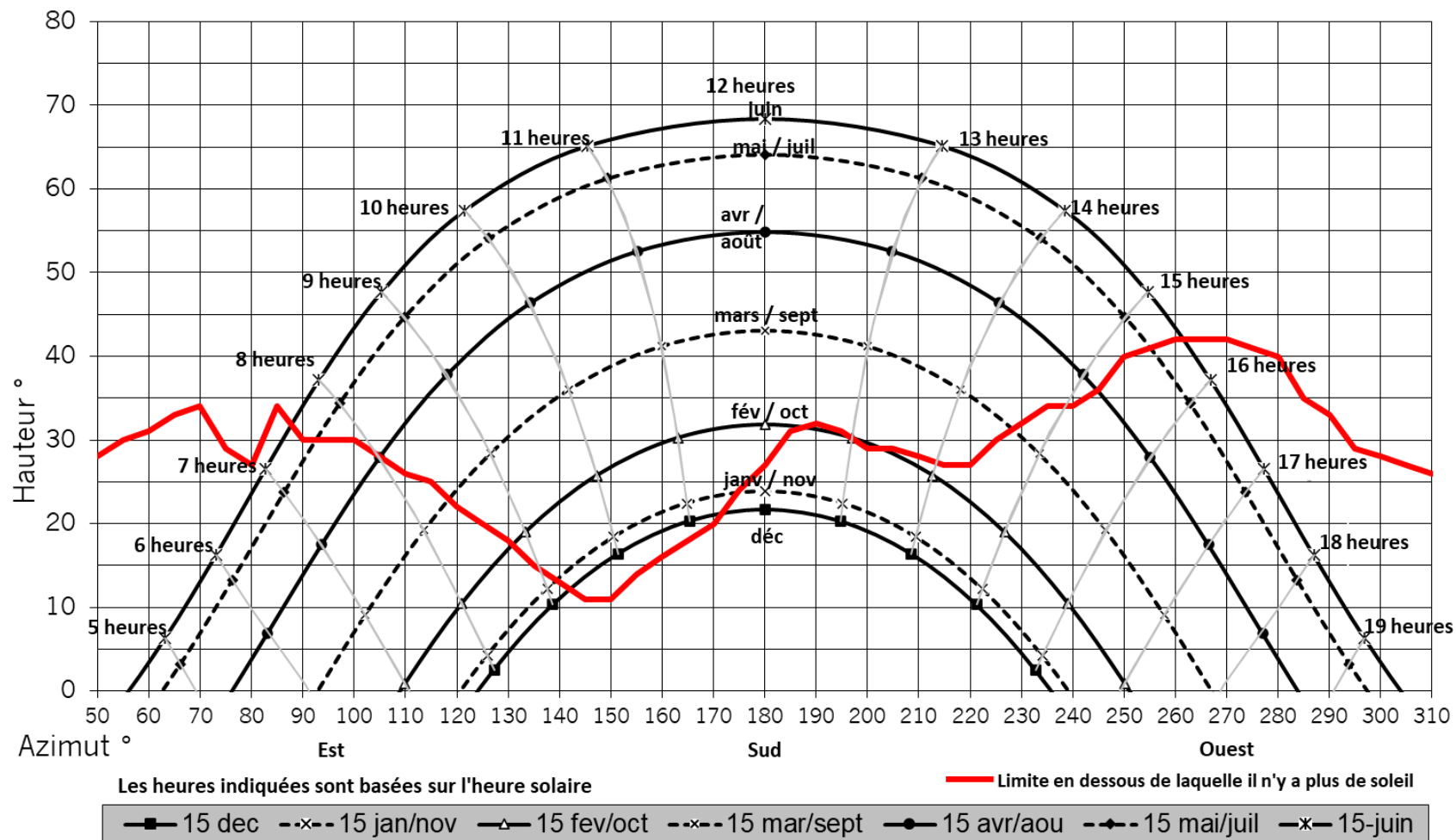
La consommation journalière mensuelle est présentée dans la première colonne dans le tableau ci-dessous. L'autonomie de la batterie est directement liée à cette consommation puisqu'avec une capacité donnée, le nombre de jours d'autonomie augmente lorsque les consommations diminuent. Enfin, en dernière colonne, nous présentons l'influence des masques qui sont importants pendant les 4 mois d'hiver.

	Consommation	% au regard de la conso. max	Autonomie de la batterie (nb jours)	Influence des masques
<b>janvier</b>	3 741	18%	27	43%
<b>février</b>	3 743	18%	27	28%
<b>mars</b>	12 687	60%	8	18%
<b>avril</b>	14 054	67%	7	18%
<b>mai</b>	20 207	96%	5	18%
<b>juin</b>	21 081	100%	5	20%
<b>juillet</b>	21 081	100%	5	18%
<b>août</b>	21 081	100%	5	20%
<b>septembre</b>	15 595	74%	7	18%
<b>octobre</b>	3 868	18%	26	20%
<b>novembre</b>	3 743	18%	27	43%
<b>décembre</b>	3 829	18%	27	47%



## 1.2. MASQUE EN TOITURE

### Refuge de la Lavey



## 2. BILAN DE LA PRODUCTION MENSUELLE DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

**Station météorologique : Refuge La Lavey**

**Latitude : 44,90 °**

**Longitude : 6,21 °**

**Onduleur : 7 kVA**

**Groupe électrogène : 5kVA**

**Chargeur : 120 A**

**Parc batterie (C120) : 2657 Ah**

**Nb de jours d'autonomie : 5**

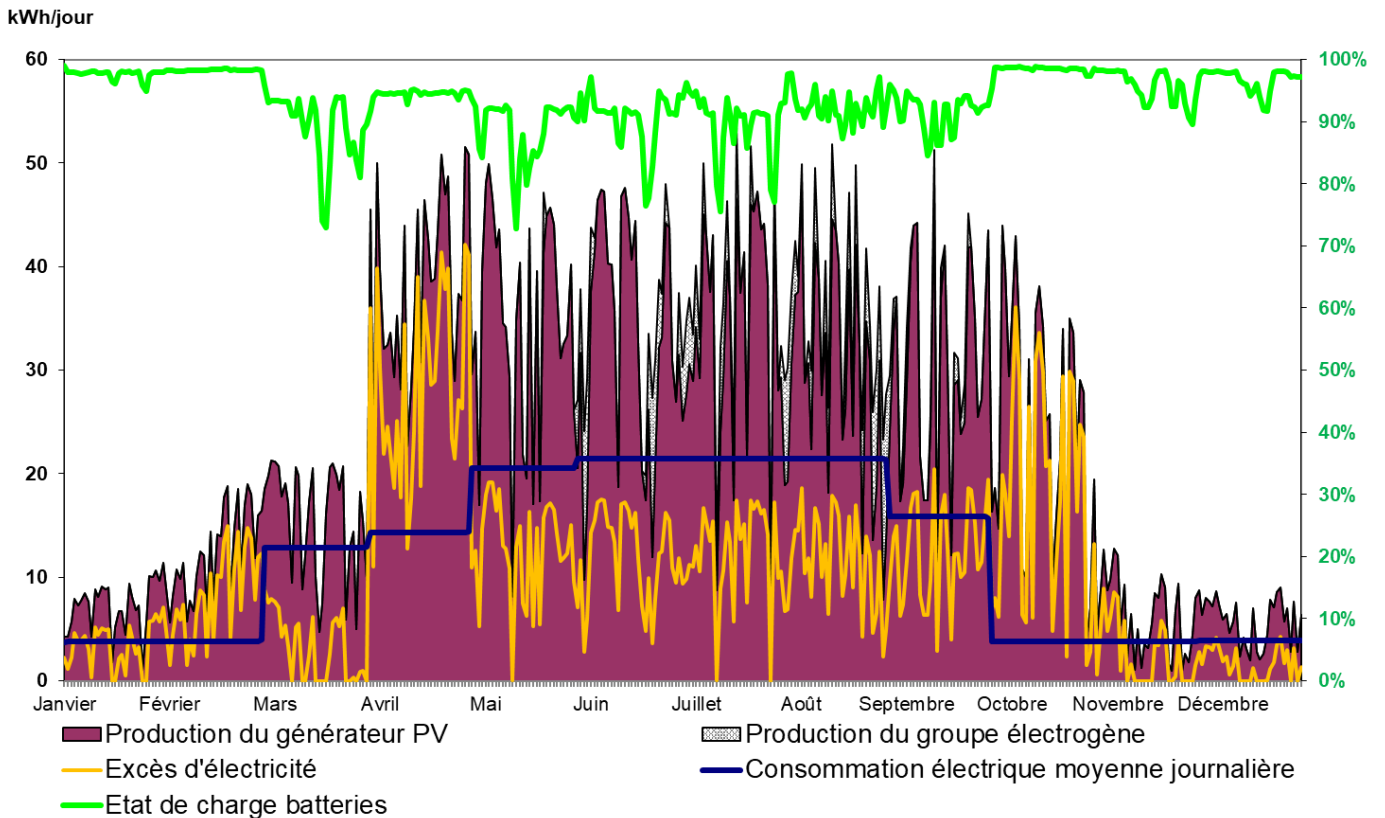
	Toiture	Façade	Cabane
<b>Nombre de modules :</b>	10	6	4
<b>Puissance installée :</b>	4500 Wc	2700 Wc	1800 Wc
<b>Puissance crête totale :</b>		9000 Wc	
<b>Inclinaison</b>	31 °	90 °	40 °
<b>Orientation</b>	175 °	175 °	175 °

MOIS	Ensoleillem. Wh/m <sup>2</sup> .j à l'horizontale	Masques	Ensoleillem. Wh/m <sup>2</sup> .j à l'horizontale incluant les masques  <i>Global Solar</i>	Ensoleillem. plan du module incluant les masques  <i>Incident Solar</i>	Production du générateur photovoltaïque Wh/jour  <i>PV Power</i>	Production du groupe électrogène		Conso. élec Wh/jour  <i>AC Primary Load</i>	Couverture solaire	Energie en surplus (Wh/jour)
						Wh/jour <i>Generator 1 Power</i>	heure/jour			
Janv	2 032	43%	1 156	1 852	7 260	0		3 741	100%	3 402
Fév	3 107	28%	2 246	3 384	12 295	0		3 743	100%	8 286
Mars	4 387	18%	3 614	4 837	15 640	0		12 687	100%	3 044
Avril	5 933	18%	4 878	5 651	38 251	0		14 054	100%	27 595
Mai	6 226	18%	5 107	5 379	34 428	0		20 207	100%	12 692
Juin	6 667	20%	5 341	5 424	33 308	0		21 081	100%	11 714
Juil	6 677	18%	5 445	5 639	34 070	0		21 081	100%	12 313
Août	5 355	20%	4 308	4 638	29 445	0		21 081	100%	11 295
Sept	4 467	18%	3 681	4 462	30 270	0		15 595	100%	12 154
Oct	3 032	20%	2 417	3 364	24 460	0		3 868	100%	18 562
Nov	2 000	43%	1 133	1 653	6 167	0		3 743	100%	2 362
Déc	1 742	47%	929	1 449	5 797	0		3 829	100%	1 711
<b>1226 kWh/m<sup>2</sup>.an Total kWh/an :</b>					<b>8 268</b>	<b>0</b>		<b>4 420</b>	<b>100%</b>	

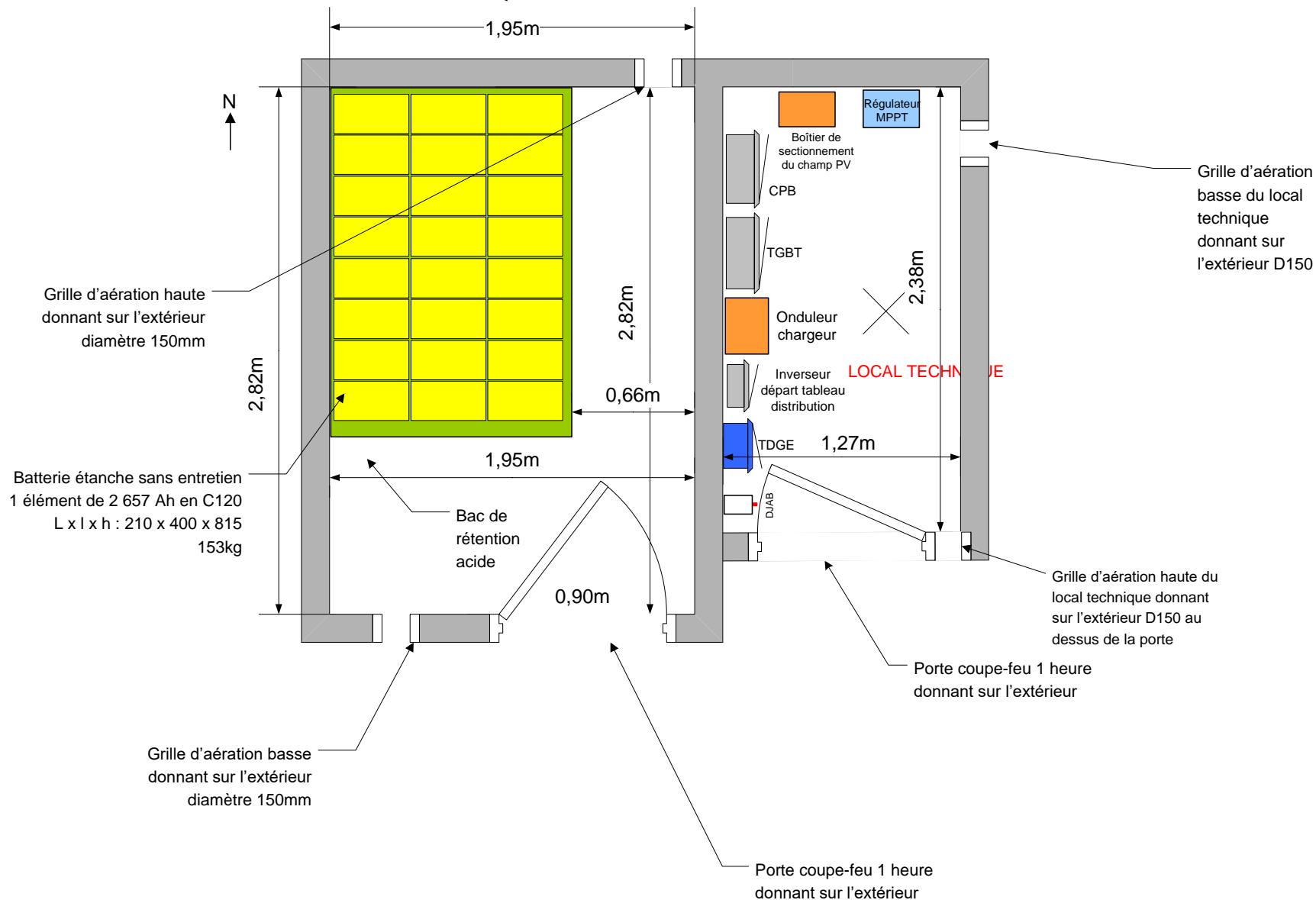
Les trois générateurs photovoltaïques couvrent 100% de la consommation tout au long de l'année. L'énergie en surplus pourra être déchargée dans la résistance électrique du ballon solaire. Les trois générateurs fonctionnent toute l'année sauf en toiture du mois de novembre au mois de mars inclus, la neige recouvre les modules.


En vert sur le graphique ci-dessous, l'état de charge de la batterie ne descend jamais en dessous de 70% et reste la plupart du temps bien au-dessus de 80%. Ce qui signifie que le système est bien dimensionné et il faut bien les trois champs photovoltaïques pour atteindre cet objectif.

Comme on peut le constater dans le graphique ci-dessous, à partir du mois d'avril, au moment où la toiture ne devrait plus avoir de neige, le surplus d'énergie (courbe orange), est important en début et fin de saison lorsque les besoins du refuge sont un peu moins importants. Ce surplus d'énergie est beaucoup moins important pendant l'été, d'une part la consommation est plus importante et d'autre part, le champ photovoltaïque à la verticale produit beaucoup moins.



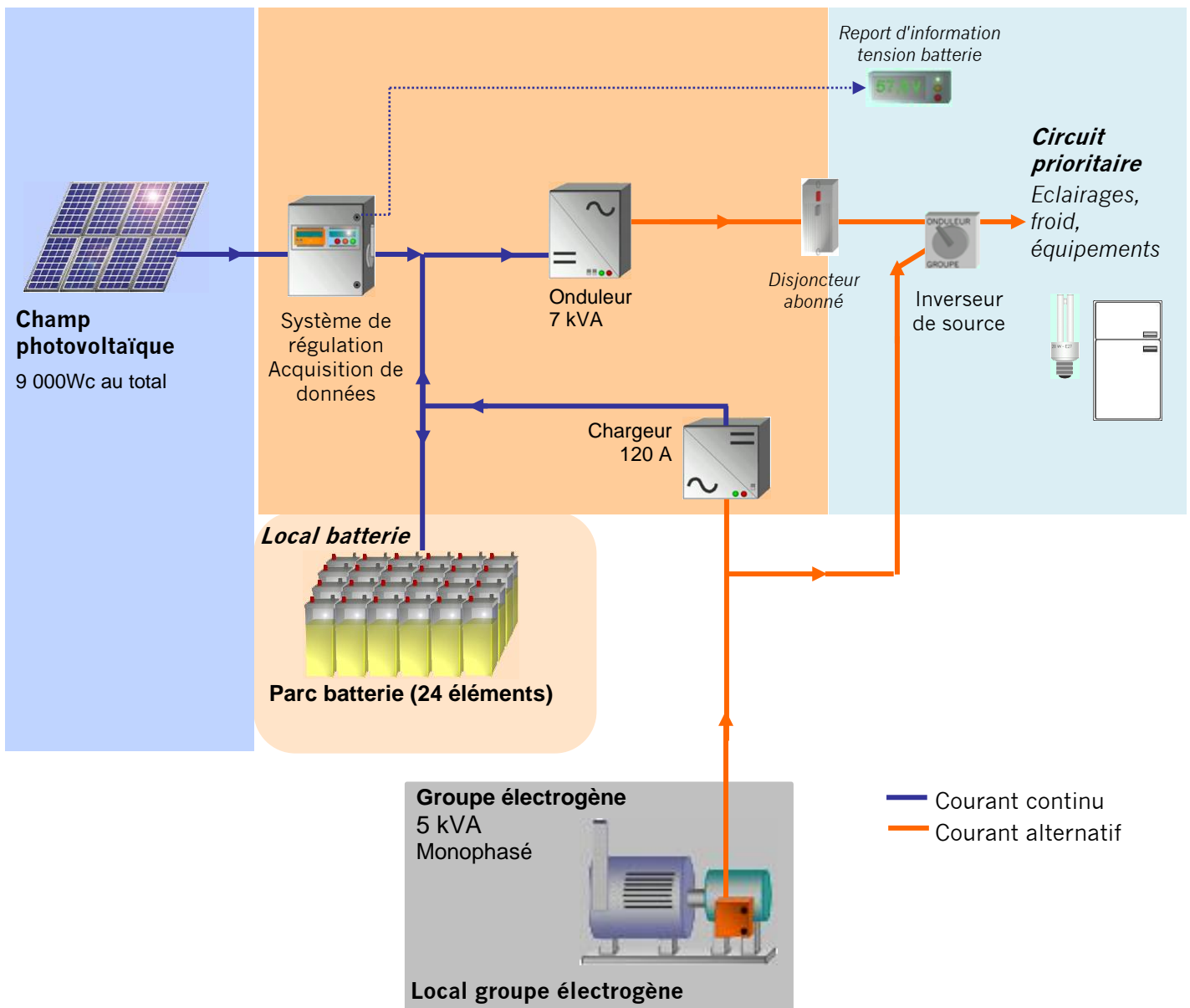
### 3. PLAN DES LOCAUX TECHNIQUES

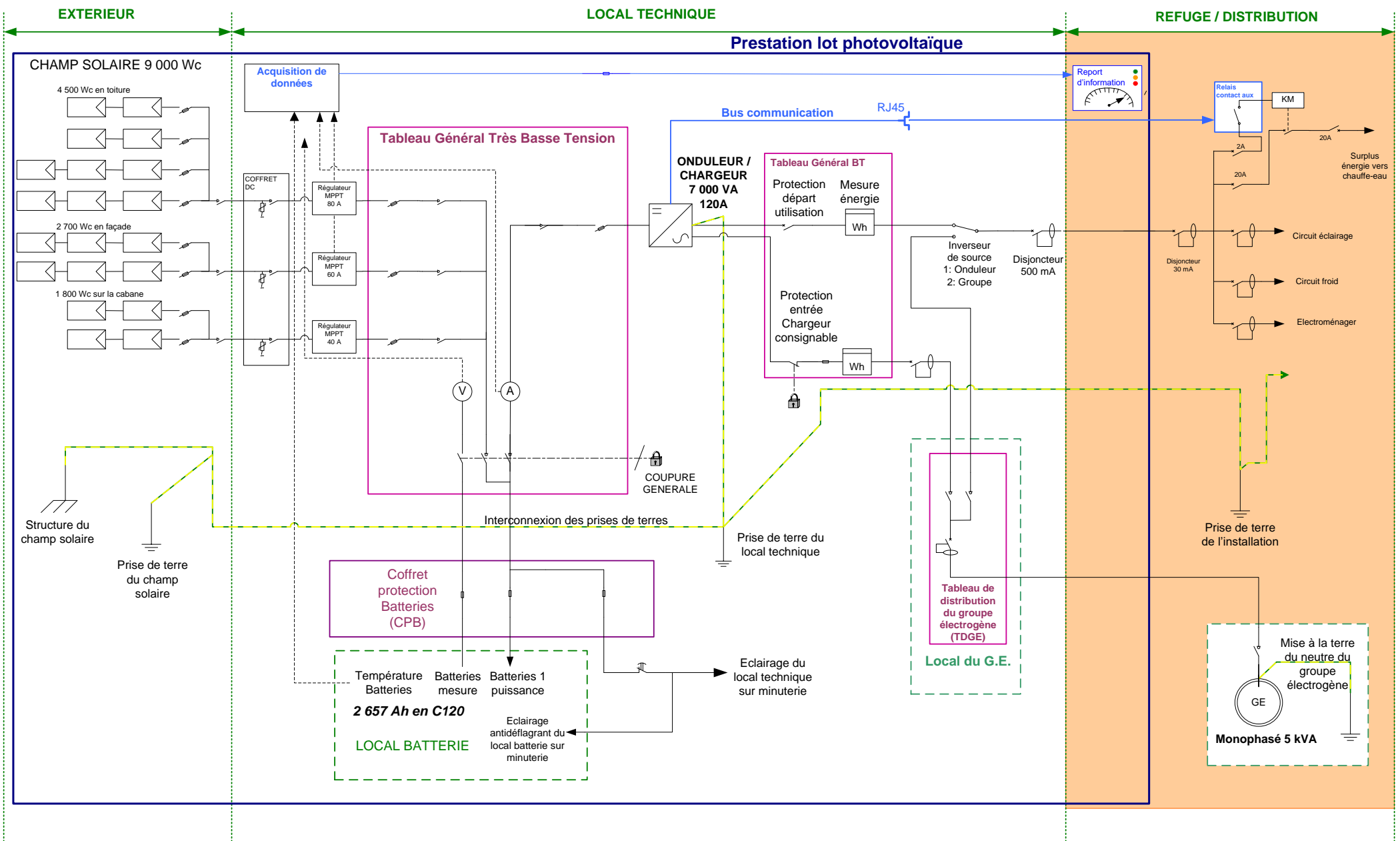



DATE	15/05/24	SCHEMAS DES LOCAUX TECHNIQUES	
N° PLAN	01		
ECHELLE			
		Refuge de la Lavey – Commune de Saint-Christophe-en-Oisans	

## 4. SCHEMA ELECTRIQUE DE PRINCIPE

Puissance du champ photovoltaïque : 9000 Wc (par exemple 20 modules de 450 Wc bi-verre)  
 24 batteries étanches de 2657 Ah C120 (capacité indiquée pour une décharge en 120 heures de temps).  
 Dimension d'un élément batterie : 215 x 400 x 815 (L x l x h) poids : 153 kg  
 Poids total sur l'emplacement du parc batterie : 3,7 tonnes, surcharge de 1,3 tonnes/m<sup>2</sup>  
 Puissance de l'onduleur : 7 kVA  
 Puissance du chargeur : 120 A  
 Groupe électrogène en secours : 5 kVA





DATE	05/2024	SYNOPTIQUE GENERAL D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAIQUE DISTRIBUTION CENTRALISEE EN 230VCA	
N° PLAN	HLG/01		
ECHELLE			

## 5. MONTANT DES INVESTISSEMENTS

Nature des fournitures / travaux - Générateur		Prix Total HT	
<b>G1</b>	<b>Champ photovoltaïque</b>		
	Champ photovoltaïque existant :		
	20 Modules photovoltaïques de 4500 Wc - 9000 Wc		3 700,00
	Câblage, interconnexion, boîtes de jonction		
	Structures spécifiques pour une fixation sur les toitures		2 240,00
	Structure pour la fixation des modules en façade		960,00
	Parafoudre et mise à la terre		450,00
	Points d'ancrage		500,00
	<b>Sous Total Champ photovoltaïque (G1)</b>		<b>7 850,00</b>
<b>G2</b>	<b>Parc de stockage</b>		
	Parc batterie existant :		
	Batteries stationnaires 2V - 2657 Ah C120	24	34 400,00
	Bouchons à recombinaison		0,00
	Chantier de supportage en gradin, bas de rétention		3 400,00
	<b>Sous Total Parc de stockage (G2)</b>		<b>37 800,00</b>
<b>G3</b>	<b>Tableau général très basse tension TGTBT et régulation</b>		
	Système de régulation du champ photovoltaïque		2 400,00
	Système d'acquisition de données		2 000,00
	Voyants et visualisations		800,00
	Ensemble de protection de la partie continue		2 800,00
	Sectionnement général verrouillable sur le côté du TGTBT		950,00
	<b>Sous Total coffret TGTBT (G3)</b>		<b>8 950,00</b>
<b>G4</b>	<b>Tableau général basse tension TGBT</b>		
	Comptages et protections		2 800,00
	<b>Sous Total coffret TGBT (G4)</b>		<b>2 800,00</b>
<b>G5</b>	<b>Convertisseurs</b>		
	Onduleur/chargeur de 7000 VA au total		4 500,00
	<b>Sous Total Convertisseurs (G5)</b>		<b>4 500,00</b>
<b>G6</b>	<b>Local technique (conformément au CCTP)</b>		
	Aménagement (ventilation, éclairage, portes coupe-feu)		5 440,00
	<b>Sous Total HT Locaux techniques (G6)</b>		<b>5 440,00</b>
<b>G7</b>	<b>Câblage</b>		<b>4 500,00</b>
<b>G8</b>	<b>Réseau de terre</b>		<b>1 700,00</b>
<b>G9</b>	<b>Tableaux de distribution du Groupe Electrogène</b>		<b>650,00</b>
<b>P1</b>	<b>Transport sur site (mutualisation des moyens)</b>		
<b>P2</b>	<b>Installation</b>		<b>13 500,00</b>
<b>P3</b>	<b>Visites de chantier</b>		<b>2 000,00</b>
<b>P4</b>	<b>Documentations techniques</b>		<b>1 500,00</b>
	<b>TOTAL HT</b>		<b>91 190,00</b>
	<b>TVA 20%</b>		<b>18 238,00</b>
	<b>TOTAL TTC</b>		<b>109 428,00</b>

Le groupe électrogène n'a pas été chiffré, seul le tableau de distribution et son raccordement à l'installation photovoltaïque sont chiffrés.

## ANNEXE 4 : Analyses trajectographiques- Pyrite - Engineerisk



# RAPPORT

## ANALYSES TRAJECTOGRAPHIQUES

### REFUGE DE LA LAVEY

V1 du 22/09/2023



Rédigé par : Philippe BERTHET-RAMBAUD


 + 33 6 23 75 04 44

 pbr@engk.fr

Visa :



Relu par : Christine GACHET

 + 33 6 31 44 57 23

 christine.gachet@pyrite-ingenierie.com

Ce rapport contient 25 pages et constitue un tout indissociable; une utilisation partielle n'engage pas la responsabilité d'Engineerisk & Pyrite Ingénierie

Sauf mention contraire : crédits photos Engineerisk / figures en plan orientées nord vers le haut/ Fond orthophoto Géoportail

Référence : FRA572

Version 1 du 22/09/2023

## REFERENCES

- [1] PYRITE Ingénierie, Rénovation du refuge de la Lavey, problématique chutes de blocs, étude géotechnique de projet, Affaire 21/074 indice B 30/03/2023
- [2] Atelier 17c architectes, Rénovation et extension du refuge de la Lavey, APS, 17/06/2022

## SOMMAIRE

I.	Introduction.....	4
II.	Modèle numérique de terrain .....	5
III.	RESULTATS ROC PRO 3D (Pyrite).....	6
A.	Vérification sur l'éboulement de 2011 .....	8
B.	Zones de départ potentielles.....	9
C.	Résultats ROC PRO 3D.....	10
IV.	RESULTATS VOELLMY – (RAMMS::avalanche) (ENGINEERISK) .....	12
V.	RESULTATS RAMMS :: ROCKFALL (ENGINEERISK) .....	16
A.	Préambule – Une approche déterministe le long de la trajectoire .....	16
B.	En pratique .....	17
C.	Tendances relatives.....	19
	Résolution du MNT.....	19
	Forme du bloc.....	20
D.	Résultats quantitatifs .....	21
	Paramétrage de référence .....	21
VI.	CONCLUSIONS .....	25

## I. INTRODUCTION

Le présent rapport vise à approfondir l'analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs du refuge de la Lavey dans le cadre du projet de rénovation et extension porté par la FFCAM.

Cet approfondissement se base sur le recours à plusieurs logiciels, à savoir ROC PRO 3D (version 5.7), opéré par Pyrite Ingénierie & RAMMS (version avalanche v1.8.0 au titre de "l'avalanche rocheuse" de 2011 pour l'utilisation de son équation de Voellmy et chutes de blocs v1.7.65) du SLF-WSL Suisse et opérés par Engineerisk sous la supervision/les hypothèses géologiques de Pyrite.

Surtout, ces nouveaux calculs bénéficient de la mise à disposition du nuage brut des relevés Lidar IGN dans le cadre du programme de couverture nationale LIDARHD à la résolution de 30cm. Etant donné le (très) faible couvert du site en termes de végétation, ce relevé brut peut, à quelques nettoyages près (cf. partie suivante), être assimilé au Modèle Numérique de Terrain du site.

A ce titre, le présent rapport annule et remplace les parties trajectographiques et conclusives de [1] mais qui reste la référence concernant la description et le contexte géologique.

## II. MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

Comme évoqué en introduction, la campagne de relevés et restitution dans le cadre du programme LIDARHD de l'IGN (<https://geoservices.ign.fr/LidarHD>) a permis d'exploiter ici le nuage brut disponible.

Cette couverture montre une différence importante avec le Modèle Numérique de Surface datant de 2018 et utilisé dans [1] : en particulier, le réseau de blocs présent directement au-dessus du refuge (Figure 1) et qui constitue une protection "naturelle" y est assez largement escamoté (Figure 2).

En toute rigueur et les points n'étant pas classifiés individuellement, le nuage brut a fait l'objet des traitements suivants : conversion en grille à la résolution native de 30cm, extrapolation en courbes de niveau tous les 10cm superposées à l'orthophoto la plus récente Géoportail, détection visuelle des "amas" correspondant plutôt à de la végétation (Figure 3) et gommage manuel, ré-interpolation d'une grille de référence au pas de 30cm. Cette résolution permet également de mieux reproduire la rugosité réelle par rapport à une grille au pas de 1m.



Figure 1 – Vue du réseau de blocs à l'amont du refuge

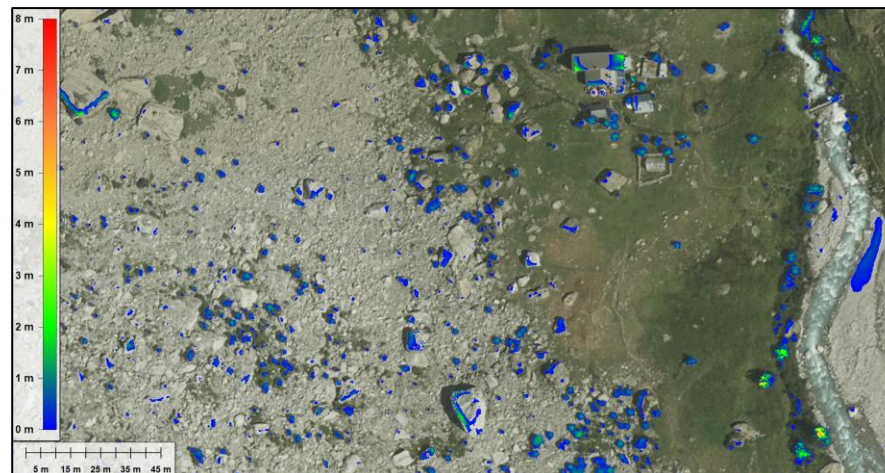


Figure 2 – Différence d'altitude entre le MNT issu du LIDARHD et le MNS de 2018



Figure 3 – Localisation des zones de "végétation numérique" gommées pour obtenir la grille de référence à la résolution de 30cm

### III. RESULTATS ROC PRO 3D (PYRITE)

Sur la base de la grille précitée, les résultats confirment une influence directe de la présence “numérique” des blocs à l’arrière du refuge mais aussi de la rugosité plus réaliste du support topographique au point de pouvoir directement appliquer la bibliothèque de sols disponible dans le logiciel sans recalage drastique (comme l’imposait le MNS2018 pour reproduire les extensions avérées sur le terrain). Seuls les éboulis meubles ont été très légèrement réajustés.

Les paramètres disponibles permettent de considérer :

- les rebonds qui se définissent par des coefficients variables de restitution des vitesses et d’angle de rebond horizontal et vertical ;
- le glissement qui se définit en coefficients de glissement et l’angle limite de rebond au-dessous duquel le bloc ne rebondit plus et se met à rouler.

Trois types de sols ont ensuite été créés, dont les caractéristiques trajectographiques sont calées sur des données issues de la bibliographie et de l’expérimentation du CEREMA (ancien CETE - Figure 8) :

- Figure 5 : rocher altéré (en gris sur la Figure 4) pour les falaises de calcaire fracturés,
- Figure 6 : éboulis actif (en jaune sur la Figure 4) pour les zones d’éboulis crus sous les falaises. Une correction minimale a été apportée sur le paramètre de rebond  $R_t=0.81$  (au lieu de  $R_t=0.82$  issu de la banque de donnée de ROC PRO), sur la base des observations de l’éboulement de 2011.
- Figure 7 : sols meubles de la prairie (en vert sur la Figure 4)

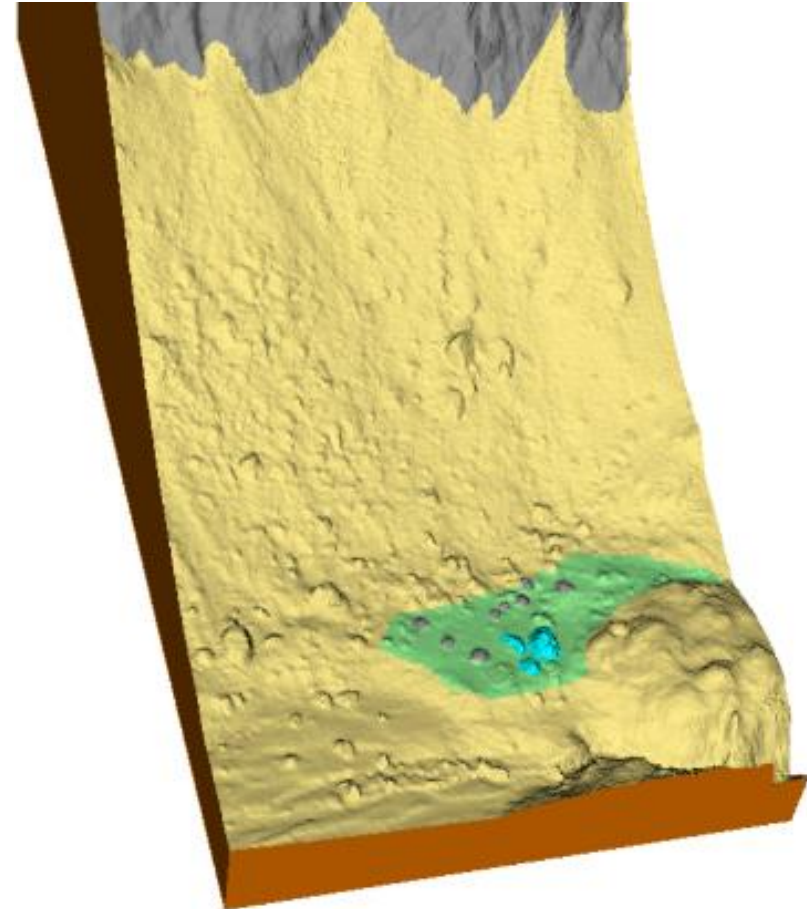


Figure 4 – extrait du MNT utilisé par Pyrite

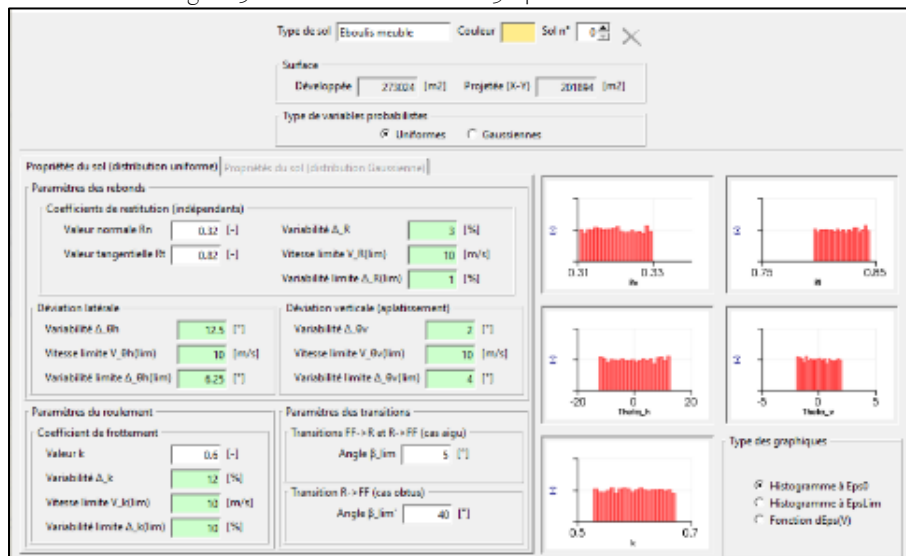
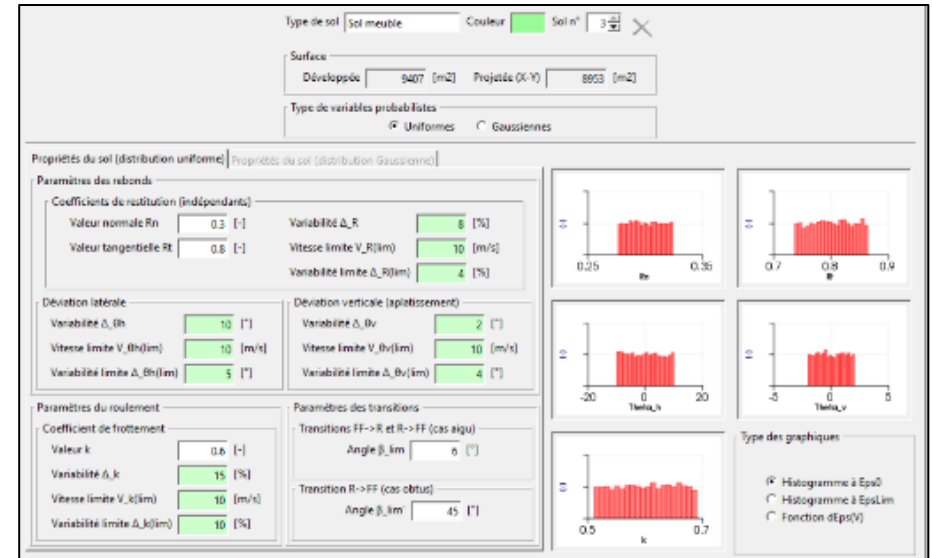
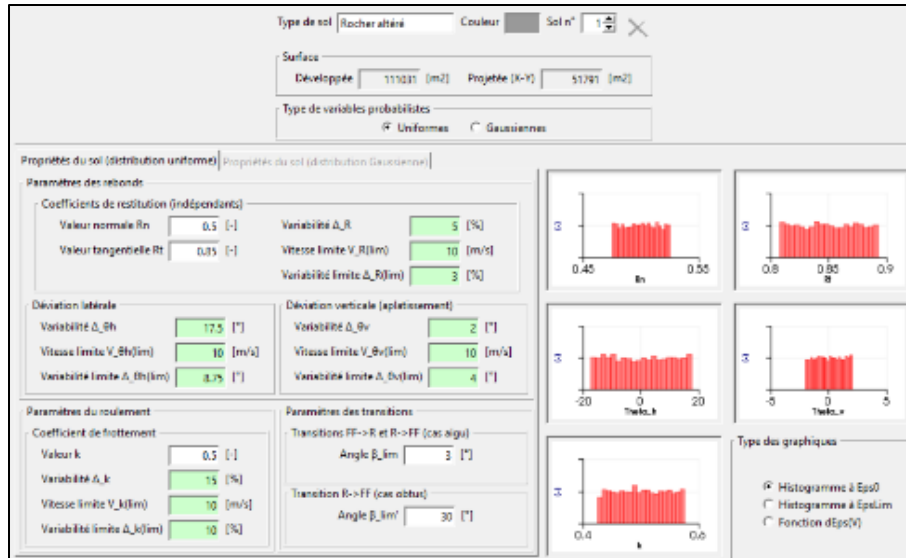


Figure 7 – Paramètres ROC PRO 3D pour les sols meubles de la prairie

Paramètres	Rocher sain	Rocher altéré	Eboulis compact	Eboulis meuble	Sol meuble	Étrendue d'eau
<b>COEFFICIENTS DE RESTITUTION</b>						
Valeur normale $R_n$ [-]	0.55	0.5	0.4	0.32	0.3	0
Valeur tangentielle $R_T$ [-]	0.9	0.85	0.85	0.82	0.8	0
Variabilité $\Delta R$ [%]	4	5	8	3	8	0
Vitesse limite $V_R$ (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	0
Variabilité limite $\Delta R$ (lim) [%]	2	3	6	1	4	0
<b>DEVIATION LATÉRALE</b>						
Variabilité $\Delta_{\theta h}$ [°]	20	17	15	12.5	10	0
Vitesse limite $V_{\theta h}$ (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	0
Variabilité limite $\Delta_{\theta h}$ (lim) [°]	10	8.75	7.5	6.25	5	0
<b>APLATISSEMENT DES REBONDS</b>						
Variabilité $\Delta_{\theta v}$ [°]	2	2	2	2	2	0
Vitesse limite $V_{\theta v}$ (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	0
Variabilité limite $\Delta_{\theta v}$ (lim) [°]	4	4	4	4	4	0
<b>COEFFICIENT DE FROITEMENT : glissement (masse concentrée) ou roulement (bloc rigide)</b>						
Valeur $k$ [-]	0.45	0.5	0.55	0.6	0.6	10
Variabilité $\Delta k$ [%]	12	15	15	12	15	0
Vitesse limite $V_k$ (lim) [m/s]	10	10	10	10	10	0
Variabilité limite $\Delta k$ (lim) [%]	10	10	10	10	10	0
<b>TRANSITION DE PHASE</b>						
Angle $\beta_{lim}$ (cas aigu) [°]	2	3	4	5	6	0
Angle $\beta_{lim}$ (cas obtus) [°]	25	30	35	40	45	0

Figure 8 – Paramètres de sols prédéfinis dans le cas de variables probabilistes uniformes (Manuel de l'utilisateur, ROC PRO 3D v.5.7)

## A. VERIFICATION SUR L'ÉBOULEMENT DE 2011

L'éboulement de 2011 est l'évènement de référence sur le siècle passé sur ce site.

Cet éboulement est connu tant sur sa zone de départ que sur les atterrissements des blocs, il a par conséquent servi d'évènement de vérification notamment pour ajuster à la marge la classe des « éboulis ».

10 000 trajectoires ont été modélisées : Les résultats sont rassurants au sens où en suivant globalement les paramètres du logiciel (éprouvés par ailleurs pour bénéficier de toute l'expérience accumulée), les trajectoires sont en cohérence avec les observations de terrain de 2011 avec à peine quelques lignes divergentes (ci-dessous) qui passeraient "au travers" mais sans atteindre le refuge:

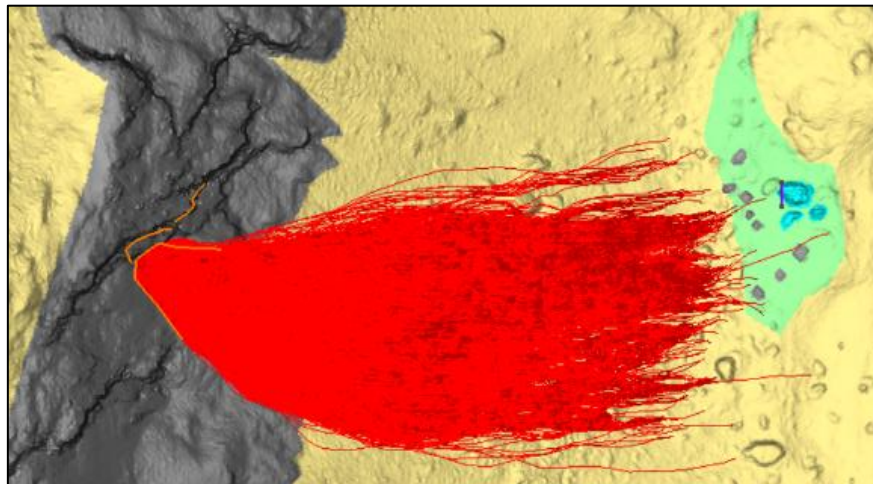


Figure 9 : modélisation des trajectoires de l'éboulement de 2011

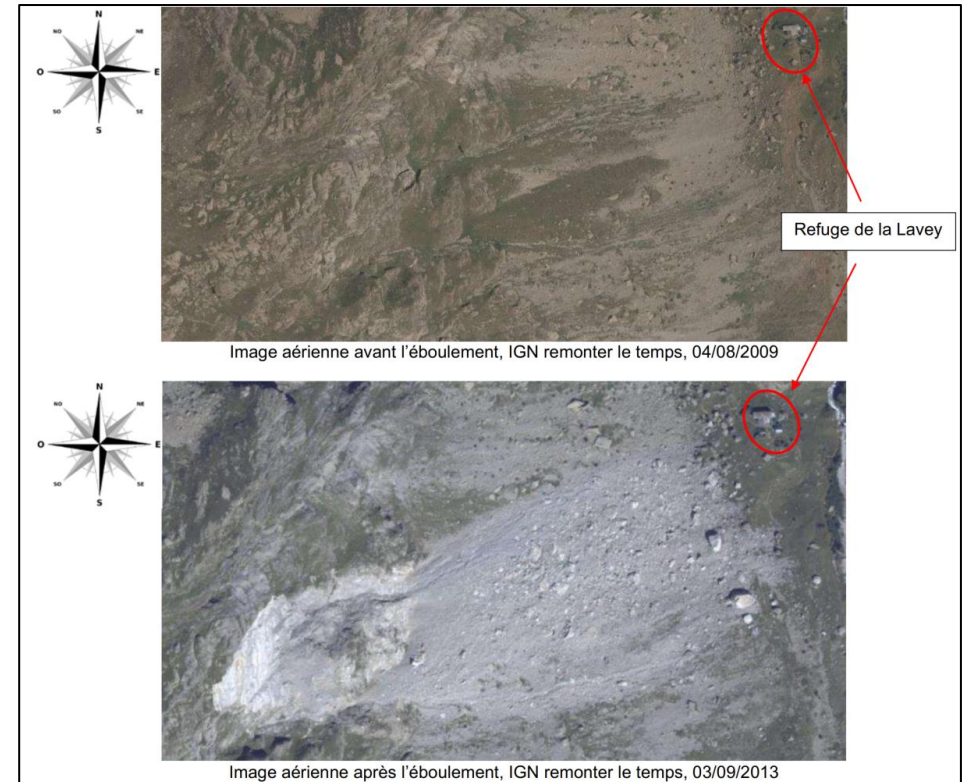


Figure 10 : Comparaison du versant avant – après l'éboulement de 2011 [1]



## B. ZONES DE DEPART POTENTIELLES

Après la vérification précédente, 2 zones de départ potentielles ont été considérées dans l'état actuel du terrain et en cohérence avec les hypothèses déjà exposées dans [1]:

- l'écaille A2 identifiée dans les aléas potentiels restant mobilisables
- la falaise côté nord

avec les hypothèses récapitulées ci-après :

Zone de départ	Simulations Nombre de blocs générés	Altitude ligne de départ des blocs	Volume unitaire considéré	Hauteur initiale de chutes de blocs
1 – écaille identifiée A2	10 000	2150	30 m <sup>3</sup>	5
2 – zone nord	10 000	2100	30 m <sup>3</sup>	5

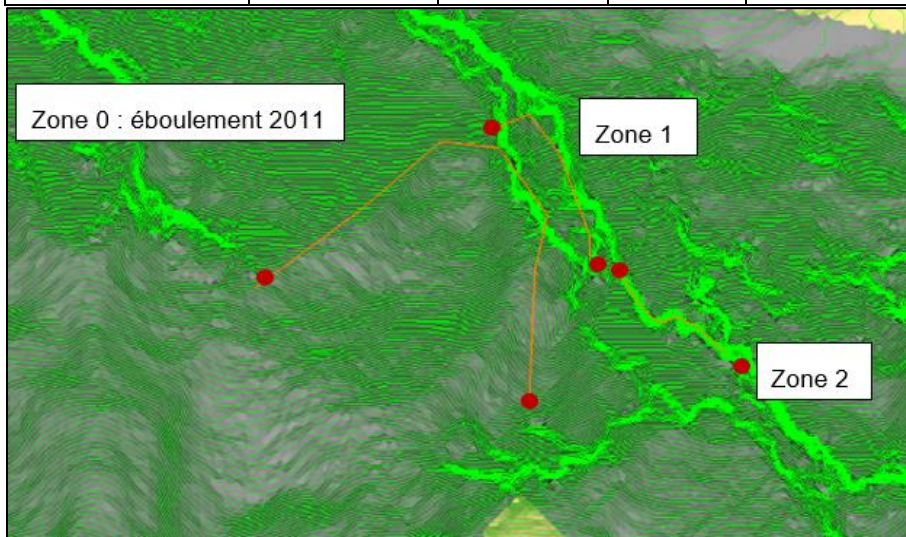


Figure 11 : répartition des différentes zones de départ

Le choix du volume de 30 m<sup>3</sup> est justifié les observations de terrain pour un bloc de projet cylindrique de 5.0 m de diamètre et élancement 3.0, en accord avec les gros blocs éparpillés dans la partie inférieure de l'éboulis.

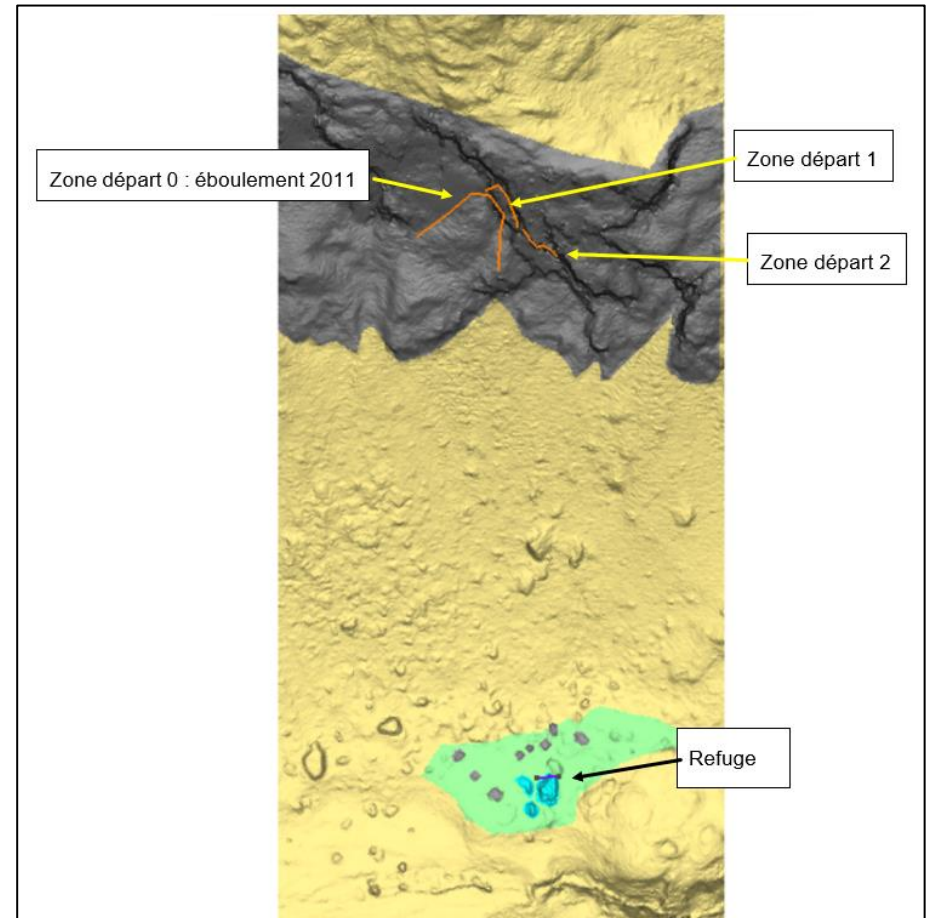


Figure 12 : localisation des différentes zones de départ

## C. RESULTATS ROC PRO 3D

Les résultats obtenus à partir des zones précitées sont données sur la Figure 14: en exploitant la topographie précise du lidar (présence de tous les blocs à l'amont du refuge et rugosité générale), il n'y a pas de bloc généré qui atteigne le refuge même si pour certaines trajectoires, un arrêt très proche de celui-ci reste possible.

Clairement, l'exploitation de ce dédale de blocs est un point majeur de la protection ultime du refuge.



Figure 13 : vue de la cicatrice de 2011

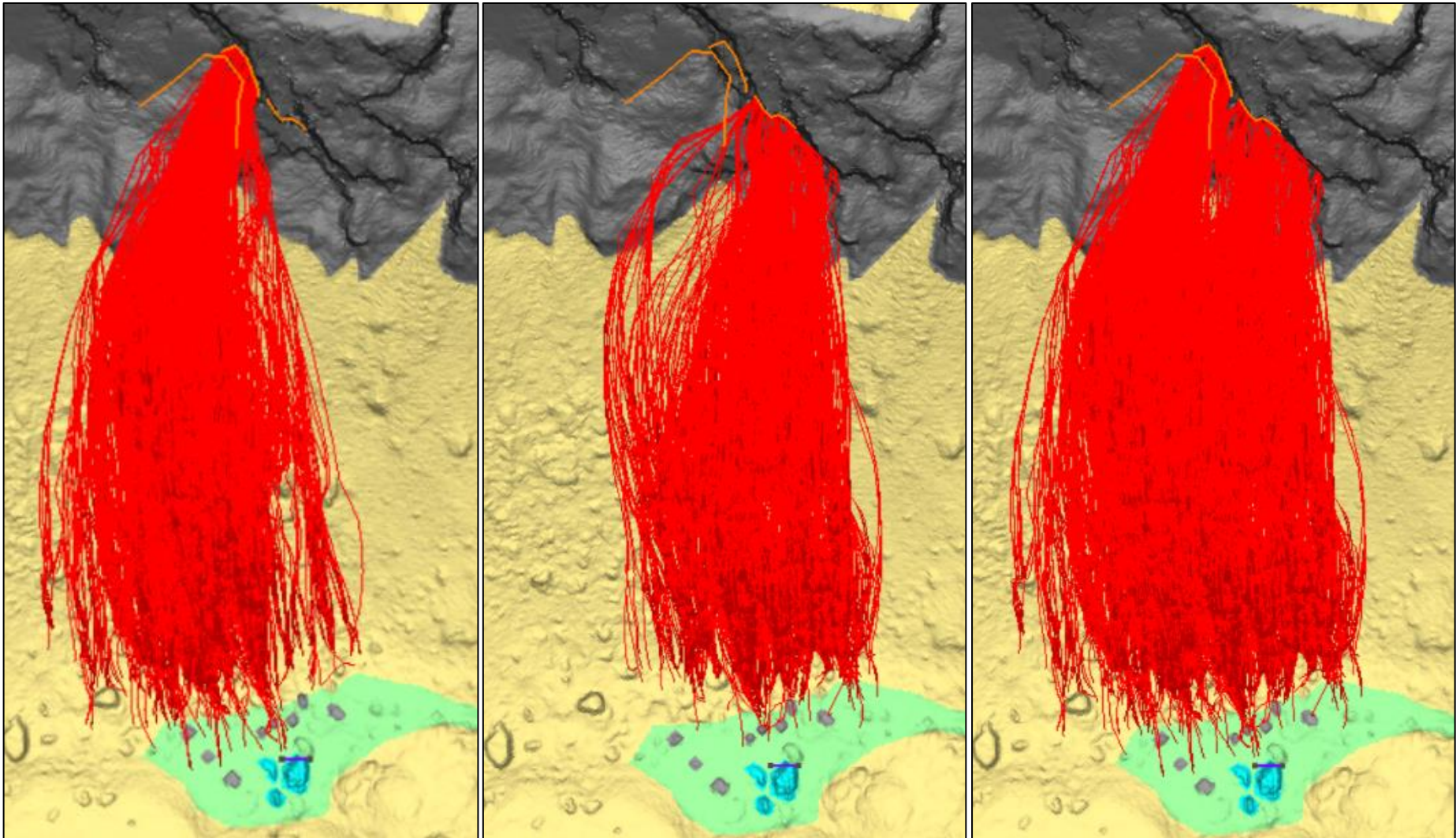


Figure 14 : Résultats ROC PRO 3D, à gauche à partir de la zone 1 (échelle A2 d'après [1]), au centre à partir de la zone 2 nord, à droite à partir des 2 zones

## IV. RESULTATS VOELLMY – (RAMMS::AVALANCHE) (ENGINEERISK)

Vu le volume de l'éboulement de 2011, de l'ordre de 120 000m<sup>3</sup> [1] et donc plutôt dans la gamme basse des volumes d'avalanches rocheuses (Cf. l'échelle des abscisses de la Figure 16), il est possible de modéliser la globalité du mouvement du phénomène grâce à un frottement simple de type Coulomb<sup>1, 2</sup> (différents retours d'expérience pour des valeurs entre 0.35 et 0.69 dans <sup>3</sup>), et encore mieux grâce à un modèle de type Voellmy<sup>4,5</sup>. Le logiciel RAMMS::avalanche basé sur ces équations est donc utilisé ici pour modéliser une avalanche rocheuse.

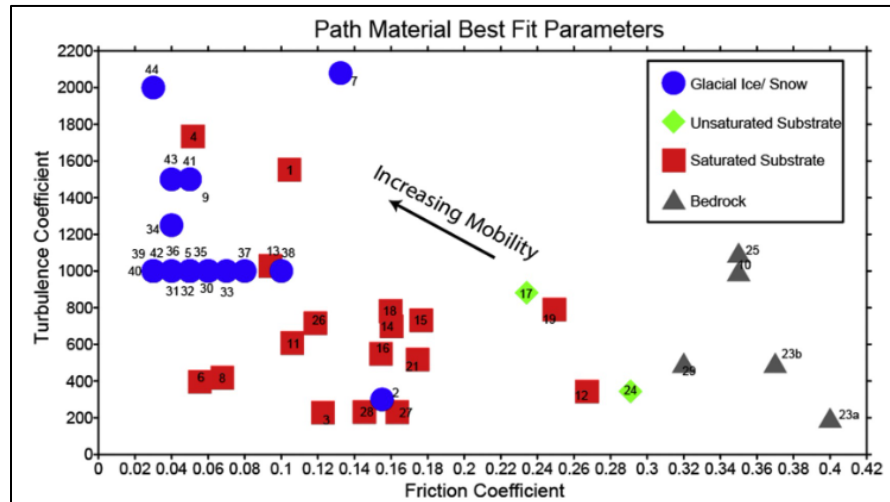


Figure 15 – Rétro analyse des ( $\mu$  ;  $\xi$ ) de Voellmy pour différents avalanches rocheuses<sup>5</sup>

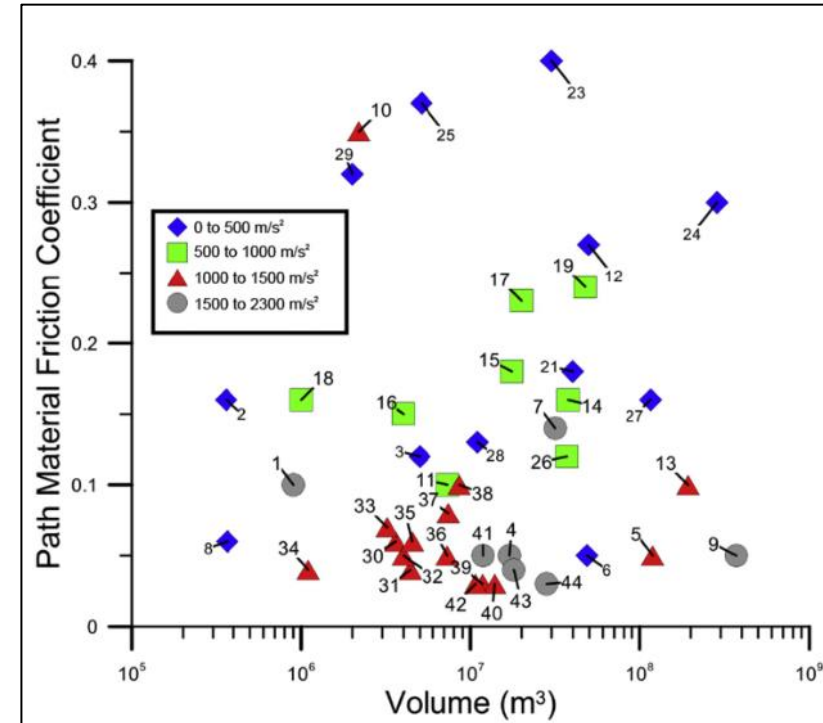


Figure 16 – Rétro analyse des valeurs de  $\mu$  équivalent pour les trajectoires d'événements observés en fonction du volume<sup>5</sup>

<sup>1</sup> J. Benjamin, N.J. Rosser, S.A. Dunning, R.J. Hardy, K. Kelfoun, W. Szczucinski, Transferability of a calibrated numerical model of rock avalanche run-out: Application to 20 rock avalanches on the Nuussuaq Peninsula, West Greenland, Earth Surf. Process. Landforms (2018)

<sup>2</sup> C. Sauthier, G. Pisani, V. Labiouse, Physical and numerical modelling of rock avalanches, JRDN 2011

<sup>3</sup> R. Couture, P. Antoine, J. Locat, J. Hadjigeorgiou, S. Evans, G. Brugno, Quatre

cas d'avalanches rocheuses dans les Alpes Françaises, Can. Geotech. J. 34, 1997

<sup>4</sup> M. Peruzzetto, A. Mangeney, C. Grandjean, C. Levy, Y. Thierry, F. Bouchut, Back-analysis of a rock avalanche and a debris flow with the SHALTOP code, Second JTC1 Workshop on Triggering and Propagation of Rapid Flow-like Landslides, Hong Kong 2018

<sup>5</sup> J. Aaron, S. McDougall, Rock avalanche mobility: the role of path material, Engineering geology (2019)

Ces approches sont plus représentatives pour le centre de masse que pour la dispersion possible au front mais sont aussi plus simples à mettre en œuvre grâce donc à l'équation de frottement de Voellmy<sup>6</sup> :

$$S = \mu N + \frac{\rho g u^2}{\xi}$$

qu'il est possible d'utiliser dans le logiciel RAMMS::AVALANCHE moyennant d'ajuster les deux coefficients combinés,  $\mu$  de type Coulomb éventuellement seul et/ou avec  $\xi$  visqueux associé au carré de la vitesse d'écoulement (Dans les dernières versions, les auteurs ont également ajouté un terme de cohésion qui complète la phénoménologie nivologique mais qui n'est pas activé ici).

Certes, la détermination de ces paramètres reste délicate par rapport à la contribution physique que chacun représente dans le cas du rocher et a fortiori entre les phases de "pur" glissement et effectivement d'avalanche/écoulement (em)portée par la matrice des plus petits fragments concentrés à la base du phénomène<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> fournit ainsi un couple  $\mu$ - $\xi$  original 0.23-0.01 alors que ce dernier terme représente les turbulences i.e. les collisions à l'intérieur du phénomène. On retiendra donc plutôt les travaux de <sup>5</sup> qui a rétroanalysé différents événements sous ce point de vue du modèle de Voellmy et fournit donc les valeurs correspondantes sur les graphes Figure 15 & Figure 16.

Même si les éléments précédents fournissent de premiers ordres de grandeur, il est paru intéressant de tester cette approche sur un événement connu et de

<sup>6</sup> A. Voellmy, Über die Zerstörungskraft von Lawinen (Sur la puissance destructrice des avalanches). Schweizer. Bauzeitung, 1955.

<sup>7</sup> B. Cagnoli, M. Manga, Granular mass flow and Coulomb's friction in shear cell experiments: implications for geophysical flows, journal of geophysical research, vol 109, 2004

volume analogue, à savoir l'écroulement du pilier nord-ouest du Mont Granier<sup>8</sup> en 2016 (Figure 17):

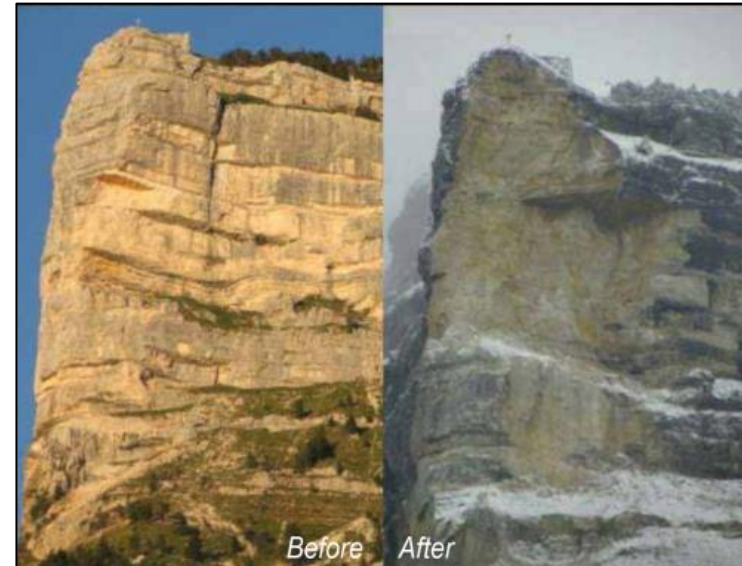


Figure 17 – Vue du pilier nord-ouest du Mont Granier avant et après 2016

Les analyses réalisées à l'époque ont conclu à un écroulement de 180m de haut par 85m de large de l'ordre de 120000m<sup>3</sup> et dont les traces d'extension en versant ouest sont clairement visibles dans la végétation (Figure 18 - sachant qu'un important volume a aussi versé en face nord mais selon une proportion mal connue).

<sup>8</sup> L. Ravanel, D. Amitrano, P. Deline, X. Gallach, A. Helmstetter, F. Hoblea, G. Le-Roy, E. Ployon, The small rock avalanche of January 9, 2016 from the calcareous NW pillar of the iconic Mont Granier (1933 m asl, French Alps), EGU 2016



Figure 18 – Vue des traces dans la forêt en versant ouest du Mt Granier suite à l'éroulement du pilier nord-ouest en 2016 (source : IRMA)

Finalement, les extensions longitudinales ont pu être reproduites avec 3 combinaisons  $\mu$ - $\xi$  : 0.2-50 (en trait plein ci-contre - Les délimitations ont été obtenues à partir de la carte "d'intensité" qui multiplie hauteur x pression maxi pour représenter au mieux les différents aspects de l'écoulement et revient à la force que subirait une section unitaire d'obstacle dans l'écoulement), 0.3-200 (en pointillés) et avec un frottement simple de coulomb de 0.5 (en points).

On note toutefois que le terme en  $\xi$  permet de mieux cerner les différentes lignes d'écoulement plutôt qu'un étalement diffus avec le seul terme  $\mu$  mais correspond aussi à des niveaux de vitesse (très) réduits.

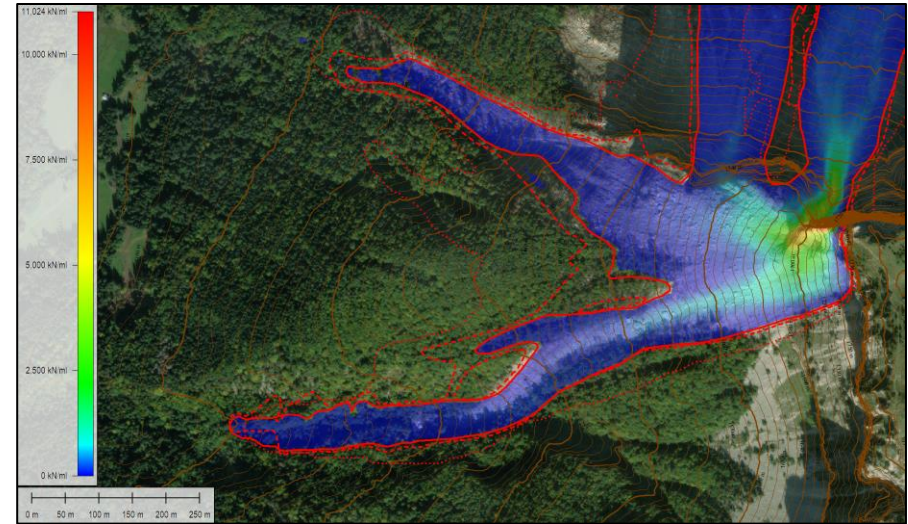


Figure 19 – Reproduction de l'extension des deux principales branches de l'éroulement du pilier nord-ouest du Granier avec le modèle de frottement de Voellmy selon les combinaisons  $\mu$ - $\xi$  suivantes : 0.2-50 en trait plein (carte d'intensité correspondante en échelle de couleurs) et 0.3-200 en pointillés. Résultat avec  $\mu=0.5$  en points

Le même paramétrage est ensuite appliqué au versant au-dessus du refuge de la Lavey pour obtenir respectivement les résultats donnés de la Figure 20 à la Figure 22 : on retrouve des tendances analogues à précédemment en termes d'étalement et (donc) d'extension longitudinale mais dans tous les cas et malgré la conservativité de cette approche (relativement aux résultats obtenus sur le cas du Granier - Figure 19), le refuge et les autres bâtiments du hameau de la Lavey ne sont pas atteints. Selon les cas, on recoupe même des limites intéressantes par rapport aux blocs présents en pied de versant.

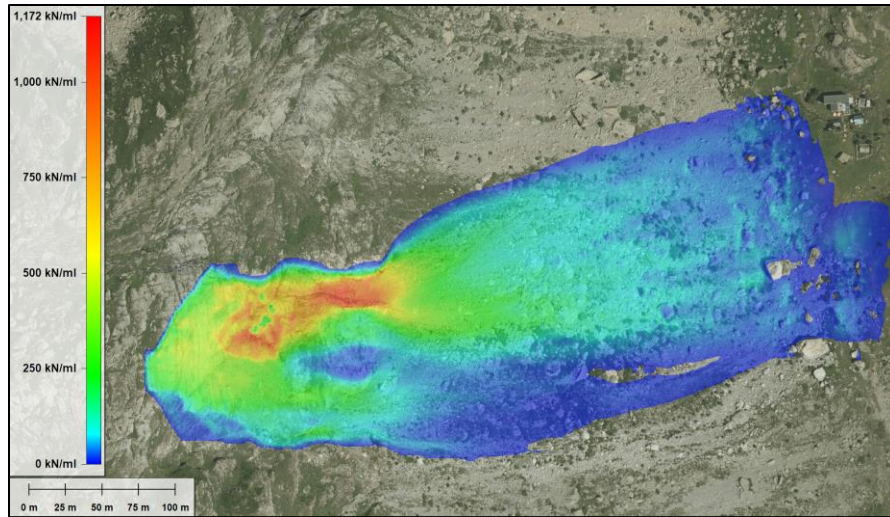


Figure 20 – “Ecoulement” du volume rocheux éboulé en 2011 avec le modèle de frottement de Voellmy selon la combinaison  $\mu=0.2 \xi=50$  – intensité maxi

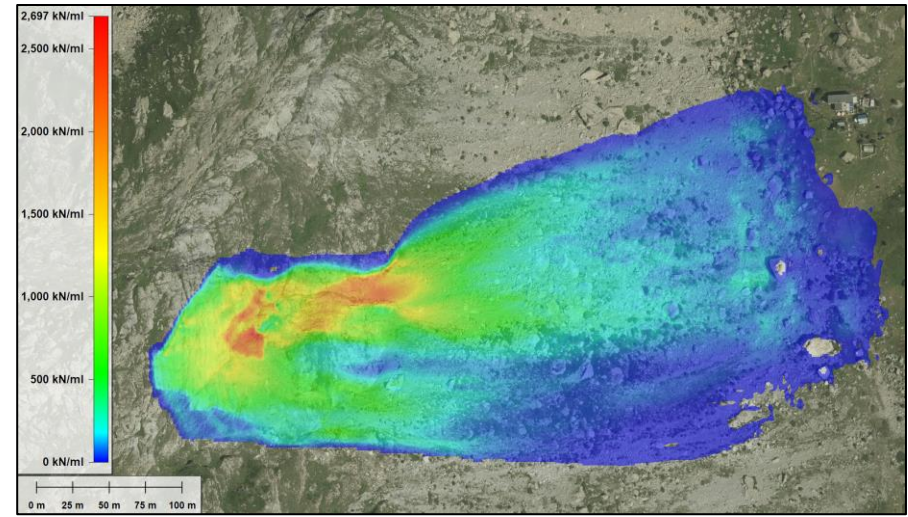


Figure 21 – “Ecoulement” du volume rocheux éboulé en 2011 avec le modèle de frottement de Voellmy selon la combinaison  $\mu=0.3 \xi=200$  – intensité maxi

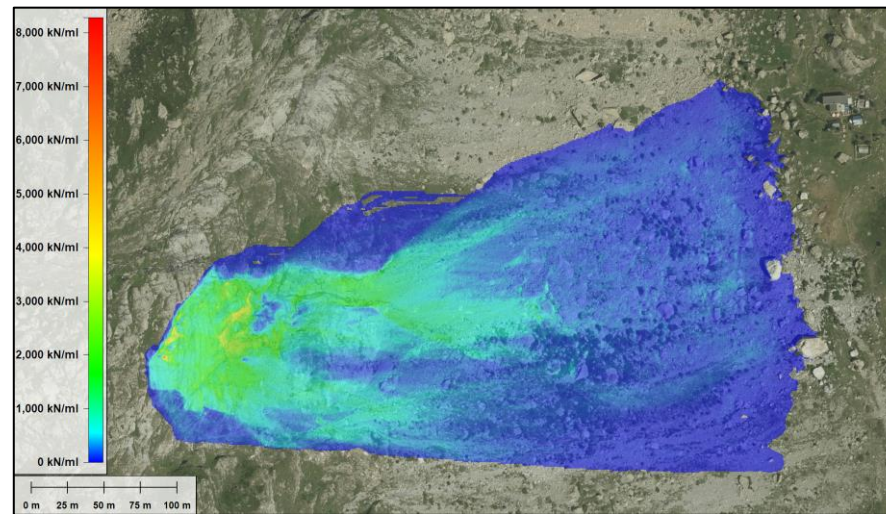


Figure 22 – “Ecoulement” du volume rocheux éboulé en 2011 avec le modèle de frottement de Coulomb avec  $\mu=0.5$  – intensité maxi

## V. RESULTATS RAMMS :: ROCKFALL (ENGINEERISK)

### A. PREAMBULE – UNE APPROCHE DETERMINISTE LE LONG DE LA TRAJECTOIRE

Le modèle RAMMS::ROCKFALL a été développé par le Centre de mécanique de l'ETH Zurich et l'équipe RAMMS de l'Institut WSL pour l'étude de la neige et des avalanches SLF. Il a fait l'objet de nombreuses publications et d'importantes campagnes d'essai pour caler différents comportements de sols.

Jusqu'à présent, la plupart des modèles trajectographiques comme ROC PRO 3D, utilisent une mécanique de rebond simple pour décrire l'interaction complexe entre le bloc et le sol. Les géométries de blocs consistent en des formes simplifiées, principalement des sphères ou des ellipsoïdes. L'interaction bloc-sol y est paramétrée à l'aide de coefficients de restitution apparents pour "globaliser" l'interaction au moment du rebond. Pour tenir compte de la grande variation des distances et des hauteurs de saut possibles (même sur un sol homogène), des méthodes aléatoires et stochastiques sont utilisées pour définir la gamme des coefficients de restitution possibles. La modélisation des trajectoires est donc à la fois quasi-déterministe et quasi-stochastique.

Dans RAMMS, l'interaction roche-sol est paramétrée par des opérateurs de frottement qui agissent à la surface du bloc, dont la forme peut être plus ou moins complexe. Par rapport aux modèles de rebond précédents, l'approche à corps rigide et à contact dur applique des forces de contact aux arêtes et aux points d'angle du bloc. Le principal avantage de cette approche est que le rôle de la forme du bloc est pris en compte dans le modèle. Cela facilite une modélisation naturelle des quatre principaux modes de mouvement des blocs - le glissement, le roulement, le saut et le sautillerment - sans avoir recours à des méthodes aléatoires et stochastiques pour définir le mouvement global.

Ces quatre modes de propagation sont importants à intégrer puisqu'ils interviennent tous au long d'une trajectoire complète : si l'essentiel de la distance est en général parcouru par des sauts, la phase d'arrêt nécessite une transition vers les modes du roulement ou du glissement. La variation naturelle des sauts est définie automatiquement par la forme et l'orientation de la roche au moment de l'impact. Globalement, la variabilité n'est générée qu'en modifiant les conditions initiales : position/orientation initiale et le cas échéant localisation (calepinage de points d'initiation au sein d'une surface ou ligne de départ définie par l'utilisateur).

Une autre caractéristique du modèle RAMMS::ROCKFALL est l'intégration des rotations du bloc à la fois dans les phases aériennes et pendant l'interaction avec le sol via les forces gyroscopiques correspondantes. Ces forces sont nécessaires pour modéliser certains modes notamment de roulement "sur la tranche". Pour cela, RAMMS::ROCKFALL utilise l'algèbre des quaternions qui permet de suivre les séquences de rotation même lorsque des forces de contact non linéaires modifient la direction de translation et de rotation de la roche.

Enfin, les paramètres du sol ne sont pas aléatoires : ils sont déterministes dans le sens où un type de matériau est assigné pour décrire la dureté et le type général de sol. Dans RAMMS, la séparation claire entre les conditions initiales stochastiques et les conditions déterministes "mécanistes" ensuite le long de la trajectoire au gré des différents rebonds est une des particularités et des points forts du modèle qui permet ici de compléter l'analyse par rapport aux résultats obtenus "classiquement" avec ROC PRO 3D.



## B. EN PRATIQUE

En pratique, RAMMS dispose de 7 classes de sol décrites ci-dessous :

Category	Manuel utilisateur RAMMS		traduction	
	Description	Exemple	Description	Exemple
<b>Extra soft</b>	Very wet ground. Cannot cross without deep sink in. No high vegetation.	Moor, turf, gley	Terrain très humide. Impossible de traverser sans s'enfoncer profondément. Pas de végétation haute.	Lande, gazon, cultures
<b>Soft</b>	Soft ground with many deep soil layers. Ground contains no large rock fragments. Often very moist. Foot inundations remain and are visible. Wet and deep surface soil.	Moist meadow	Sol mou avec de nombreuses couches de sol profondes. Le sol ne contient pas de gros fragments de roche. Sol de surface humide et profond.	Prairie humide
<b>Medium Soft</b>	Rocks penetrate meadow surface leaving impact scars. Soil is deep, few rock fragments. Rank vegetation.	Meadow	Les roches pénètrent la surface du sol en laissant des cicatrices d'impact. Le sol est profond, peu de fragments de roches.	Pré
<b>Medium</b>	Meadow is deep but contains rock fragments. The meadow can be covered with vegetation. Soil structure of a medium deepness. Rank vegetation.	Meadow	La prairie est profonde, mais contient des fragments de roche. La prairie peut être couverte de végétation. Structure du sol d'une profondeur moyenne.	Pré
<b>Medium hard</b>	Penetration depths are small. Ground is flat. Rocky debris is present. Shallow surface soil. Usually little (initial) vegetation.	Non-paved mountain roads, mountain meadow, pebble	Les profondeurs de pénétration sont faibles. Le sol est régulier. Présence de débris rocheux. Sol superficiel peu profond. Généralement peu de végétation (initiale).	Routes de montagne non goudronnées, prairies de montagne, galets
<b>Hard</b>	Rocks jump over ground. Mixture of large and small rocks. Usually without any vegetation.	Rock scree, pebble, coarse rock, paved roads	Les rochers sautent par-dessus le sol. Mélange de gros et de petits rochers. Généralement sans végétation.	Eboulis, cailloux, roches grossières, routes pavées
<b>Extra hard</b>	Ground is very hard and is marginally deformed by rocks. No vegetation and no surface soil.	Bedrock, cliff	Le sol est très dur et légèrement déformé par des rochers. Il n'y a pas de végétation ni de sol en surface.	Socle rocheux, falaise
<b>Snow</b>	Rocks slide on snow surface.	Snow	Les pierres glissent sur la surface de la neige.	Neige

Figure 23 : Caractéristiques des types de sol dans RAMMS ::ROCKFALL

Il s’agit donc de délimiter les zones correspondantes sur le MNT pour correspondre à chaque type de sol (Figure 24) et ainsi leur assigner les caractéristiques correspondantes selon le tableau précédent.

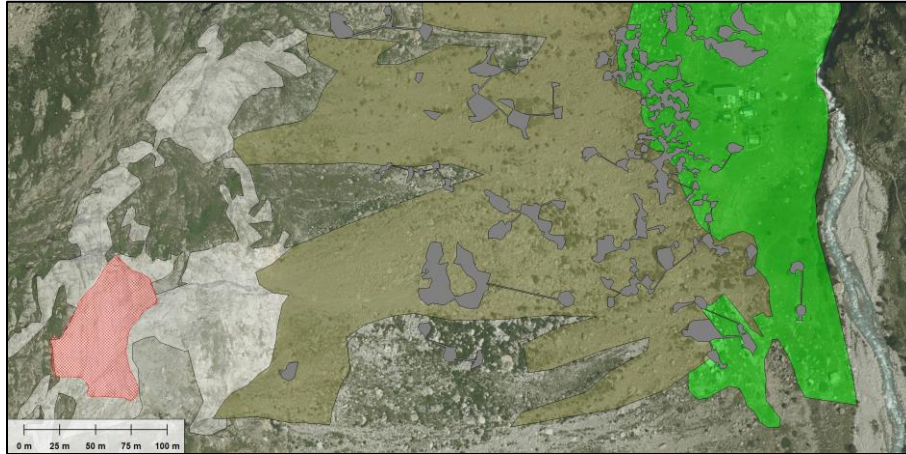


Figure 24 : Délimitation des différents sol entre (A) rochers enchassés dans le terrain (gris), (B) éboulis (marron), (C) falaises supérieures (blanc), (D) pelouse aval (vert), En hachuré rouge, surface de la zone de départ de 2011

Cependant, cette approche unilatérale (i.e. ramenée au niveau du sol mais pour décrire une interaction bilatérale) présente une petite limite qui est bien stipulée dans le manuel utilisateur : mécaniquement, c’est bien l’interaction entre le sol et le bloc qui compte. Or, dans le cas de très gros bloc, le sol peut apparaître “relativement” plus mou (en particulier par le fait que le bloc va alors pénétrer plus profondément et influencer un volume d’interaction du sol bien plus important) ce qui nécessite de moduler le type de sol d’une ou deux catégories comme indiqué dans le tableau de la Figure 25.

Finalement et pour explorer toute la variabilité des trajectoires possibles, la forme du bloc est primordiale. Ici et vu les coûts de calculs, un compromis a été recherché en termes de complexité de forme pour tester les formes réalistes ci contre :

Typical morphological alpine units / Block size scenario	Thin, fine grained Alpine talus	Thick, coarse grained Alpine talus	Thick, medium-grained low-altitude talus	Cultural land (vegetated)
0.1-0.5 m <sup>3</sup>	Medium hard - Medium	Medium hard - Medium	Medium	Medium
1-5 m <sup>3</sup>	Medium	Medium - Medium soft	Medium soft	Medium soft - Soft
5-50 m <sup>3</sup>	Medium	Medium soft	Soft	Soft - Extra Soft

Figure 25 : modulation des classes de sol en fonction de la taille des blocs (RAMMS user manual)

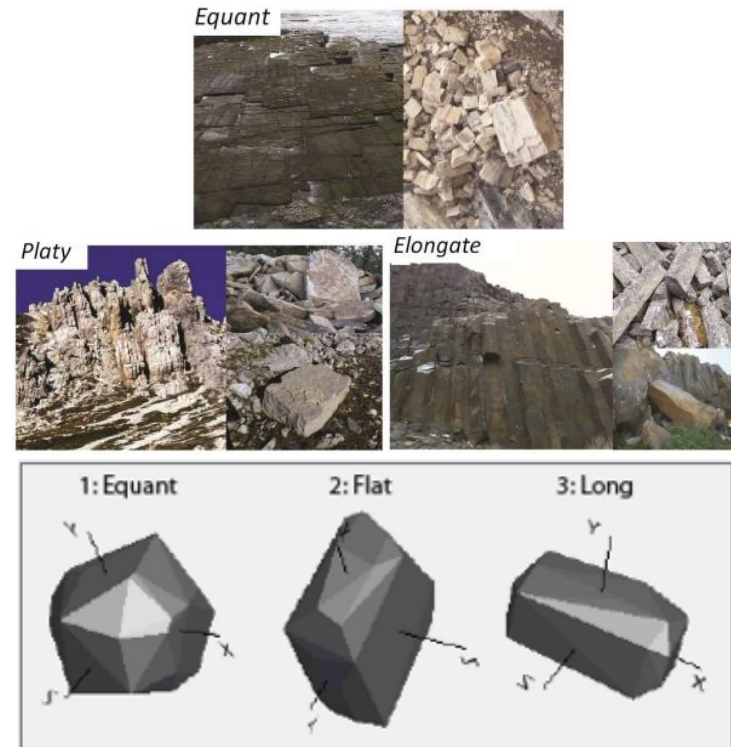


Figure 26 : formes naturelles de blocs (en haut) et restitution numérique correspondante (en bas)

## C. TENDANCES RELATIVES

### Résolution du MNT

Les 3 figures suivantes sont obtenues avec le même paramétrage en termes de sol (sans prise en compte de la taille des blocs) mais sur des MNT de source (LIDARHD et MNS2018) et résolutions différentes : les résultats sont sans appel pour confirmer l'influence directe de la prise en compte des blocs existants et de

la rugosité "réelle" grâce au LidarHD : tous les calculs quantitatifs suivants avec RAMMS ::ROCKFALL seront menés sur le support MNT issu du LidarHD nettoyé et à sa résolution maximale de 30cm.

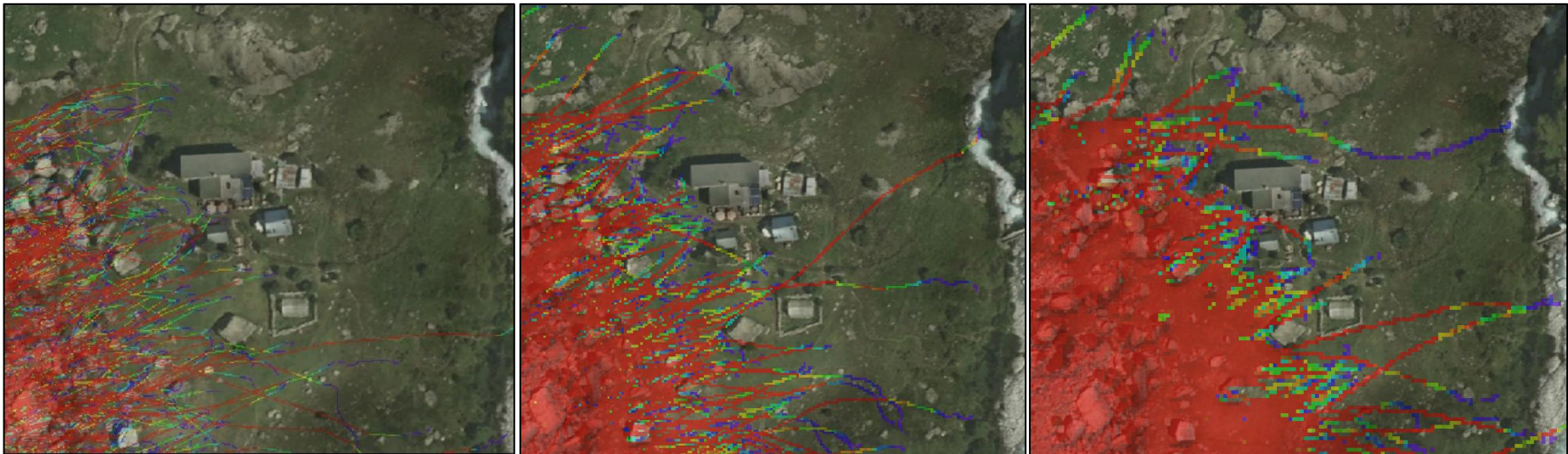


Figure 27 : Résultats obtenus avec le LidarHD pleine résolution (30cm à gauche), résolution réduite à 60m (au centre) ou à 1 m (à droite) avec paramétrage équivalent par ailleurs

## Forme du bloc

Comme l'illustrent les 2 figures ci-après, le recours à la forme de blocs "Flat" ou "long" (Figure 26) conduit à des trajectoires bien moins préjudiciables : seule la forme "Equant"

est donc utilisée dans la suite.

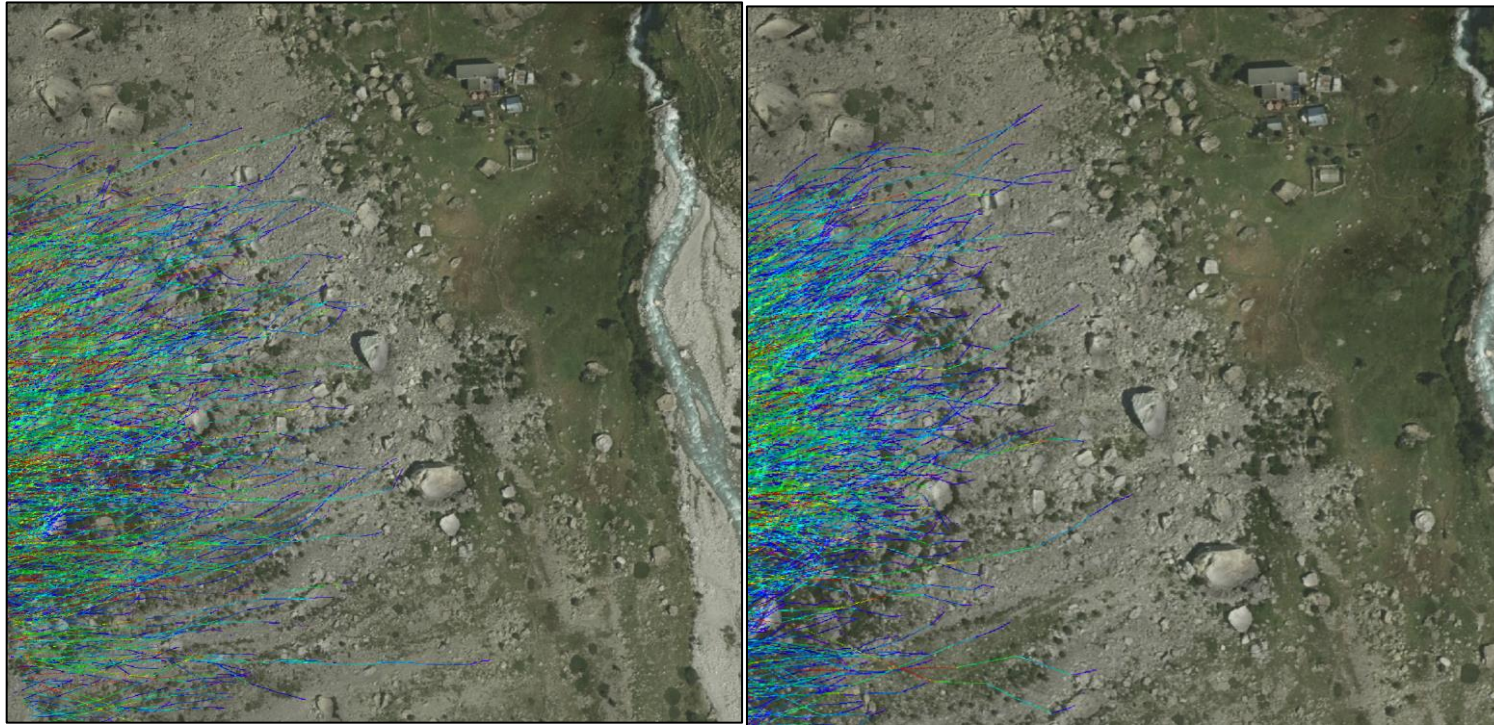


Figure 28 : Extension des trajectoires obtenues avec des blocs "flat" (à gauche) et "long" (à droite) de dimension caractéristique 5m selon le paramétrage de référence décrit à la page suivante

## D. RESULTATS QUANTITATIFS

### Paramétrage de référence

De manière conservatrice par rapport aux blocs présents sur site, une première salve de calculs a été menée sur la base d'un bloc "Equant" représentatif de taille caractéristique 5m (ses autres dimensions étant 4m50 et 4m).

Conformément aux prescriptions du manuel utilisateur tenant également compte du volume de ce bloc (54 m<sup>3</sup> ici) selon le tableau de la Figure 25, le jeu de référence des classes de sols (Figure 24) retenues est donc le suivant :

A. rochers enchassés dans le terrain :	HARD <sup>9</sup>
B. éboulis :	MEDIUM SOFT
C. falaises supérieures :	EXTRA HARD
D. pelouse aval :	EXTRA SOFT
E. Reste du site :	MEDIUM SOFT

La zone de la cicatrice de 2011 est calepinée par le logiciel selon une grille régulière tous les 92 pas de résolution pour y distribuer 502 points de départ desquels le bloc Equant est lâché 20 fois avec à chaque fois une position/rotation différente autour de ses 360°. Chaque calcul représente donc 10040 trajectoires. Pour limiter les quantités de données, seules les parties de trajectoires sous 1900m sont conservées.

Le résultat de référence correspondant est donné sur la Figure 29 dont on peut tirer 2 enseignements principaux :

- Grâce à l'utilisation du LidarHD, l'application du calibrage indiqué par le manuel utilisateur peut être respectée, ce qui est rassurant.

<sup>9</sup> Ces blocs en place étant de taille analogue au bloc de référence, ils peuvent être amenés à "bouger" en cas d'impact et ne présentent donc pas une "dureté"

- Les trajectoires obtenues couvrent bien les observations suite à l'événement 2011 (Figure 30) en s'avérant cependant un peu:
  - o Pessimistes/conservatives au niveau du refuge
  - o Plus optimistes au niveau du centre du phénomène
 Ces différences peuvent s'expliquer par la non-reconstruction/non-connaissance du terrain numérique avant 2011 et par le fait qu'il ne s'agit ici "que" de la superposition de trajectoires individuelles et non d'un phénomène d'ensemble comme vu précédemment avec l'approche RAMMS ::Voellmy (qui recoupe mieux la distribution centrale/latérale).

Dans tous les cas, ces résultats au niveau du refuge présentent donc une certaine marge de sécurité alors même que sur les 10040 trajectoires calculées, une seule s'approche du bâtiment dans ces conditions. Or, même en "raidissant" tous les types de sol d'une classe, les résultats (Figure 31) sont bien sûr plus pénalisants (mais à la fois moins représentatifs et hors du champ d'application du manuel utilisateur) sans pour autant complètement dériver : il n'y a pas d'effet de seuil à craindre mais bien plutôt une "position du curseur" à déterminer.

Pour cela, la Figure 32 permet de compléter le panorama cette fois avec un bloc de dimension représentative 3m tenant d'une certaine manière compte de la fracturation minimale de la plupart des blocs qui parcourent le versant et donc pour repousser encore un peu plus la non-atteinte des bâtiments principaux.

De même la Figure 33 qui montre l'influence très "filtrante" d'une couverture neigeuse dans le versant (qui va notamment largement limiter les sauts).

aussi important (i.e. extra hard) que le substratum.

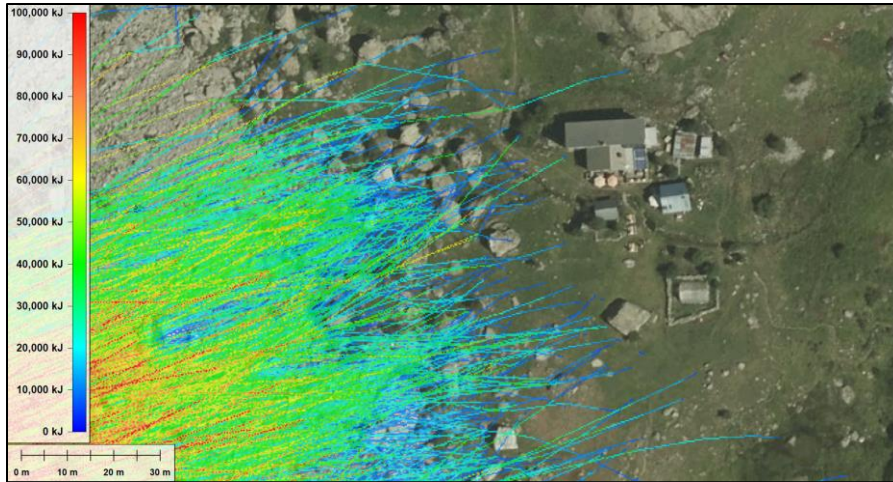


Figure 29 : Extension des trajectoires obtenues avec la configuration de référence (cadre rouge p. 21) pour la zone de l'éboulement de 2011 – échelle de couleur = énergie cinétique

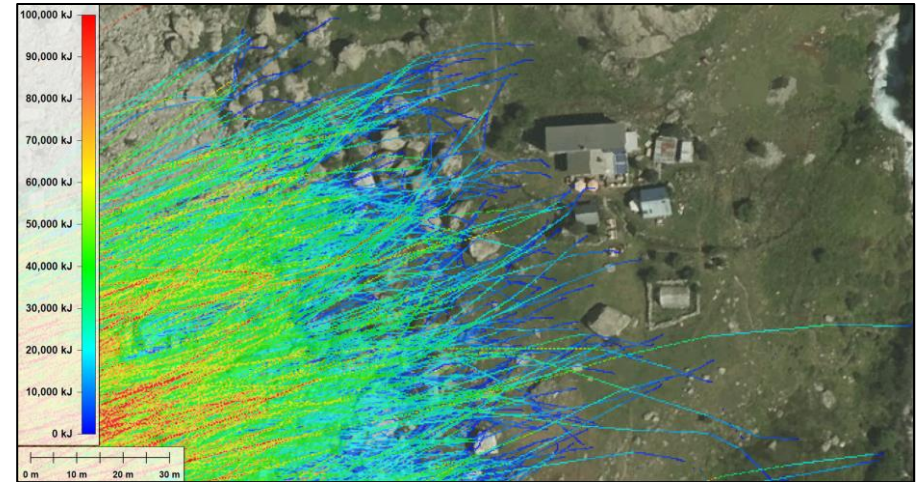


Figure 31 : Extension des trajectoires obtenues en augmentant d'une classe tous les types de sol par rapport à la configuration de référence (cadre rouge p. 21) pour la zone de l'éboulement de 2011 – échelle de couleur = énergie cinétique

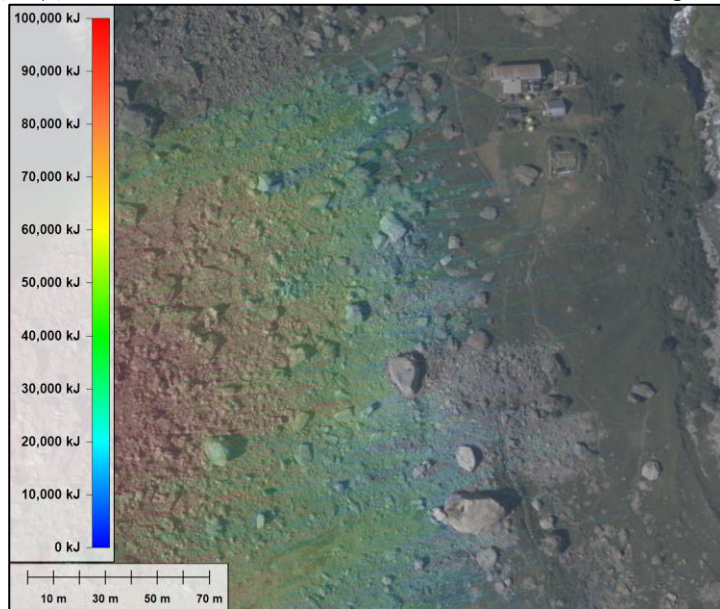


Figure 30 : idem figure précédente sur photo IGN de 2012

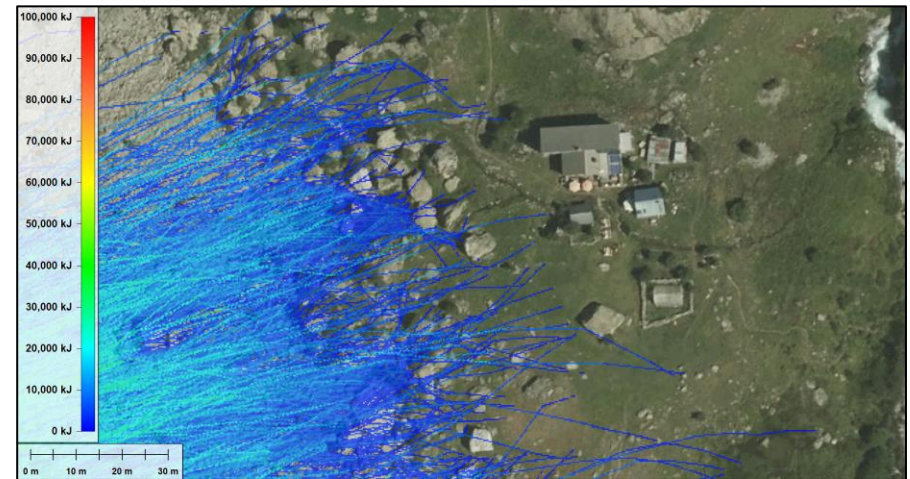


Figure 32 : Extension des trajectoires obtenues avec la configuration de référence (cadre rouge p. 21) pour la zone de l'éboulement de 2011 mais en remplacement le bloc Equant 3m par son homologue de dimension représentative 3m – échelle de couleur = énergie cinétique

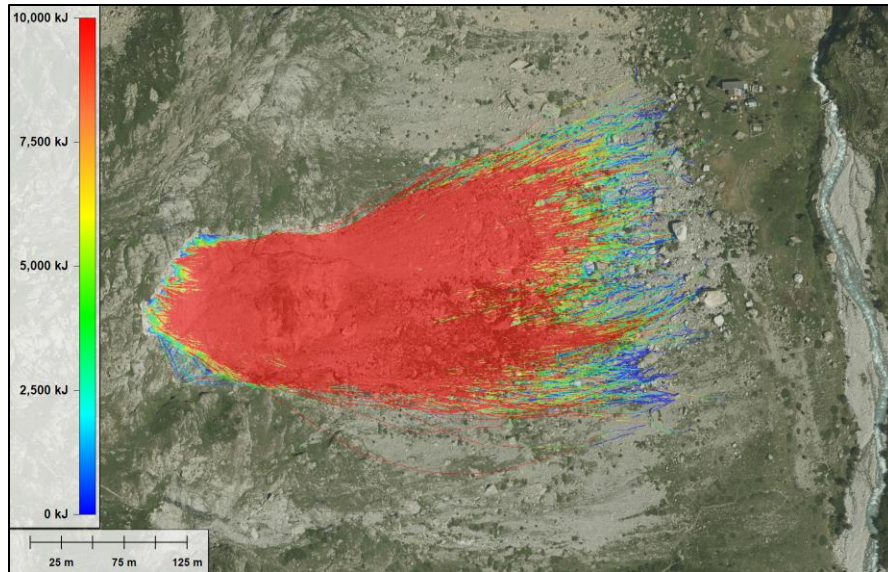


Figure 33 : Extension des trajectoires obtenues avec une couverture neigeuse au niveau du versant pour la zone de l'éboulement de 2011 – échelle de couleur = énergie cinétique

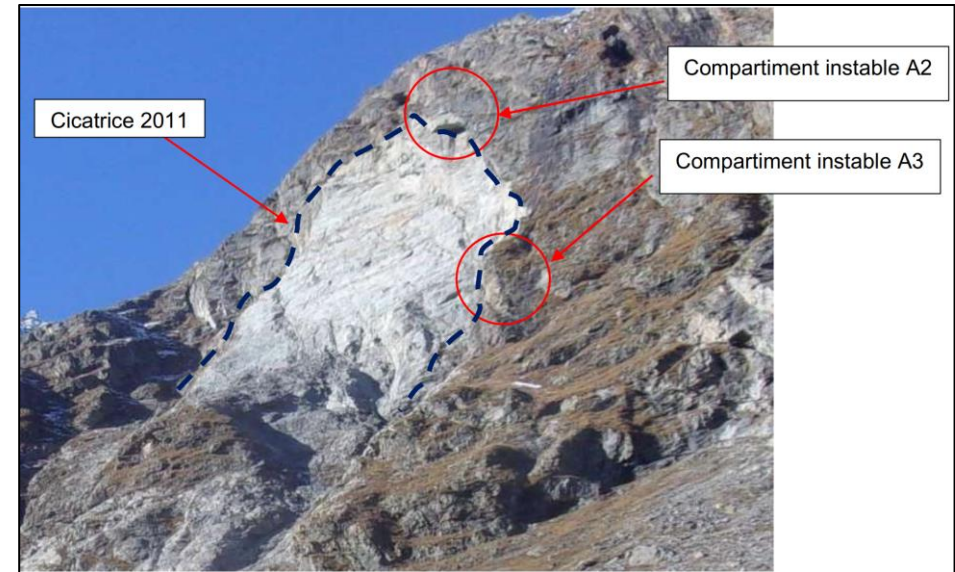


Figure 34 : Identification des zones instables [1]

Mais au-delà de cet événement passé de 2011, il est surtout intéressant d'examiner les résultats obtenus à partir des zones de départ identifiées actuellement (Figure 34 - [1]) : qu'il s'agisse des zones A2-A3 (cumulées sur la Figure 35) ou pour des départs plus au nord (Figure 36), l'exposition du refuge est globalement équivalente à celle obtenue pour les calculs représentant

l'éboulement de 2011 (Figure 29) et donc par analogie, équivalente aux conditions réelles de cet éboulement de 2011.

Autrement dit, les "nouvelles" zones de départ potentielles identifiées ne démontrent pas une menace supérieure à l'éboulement de 2011 dont il est avéré qu'il n'a touché ni le refuge ni le reste du hameau.

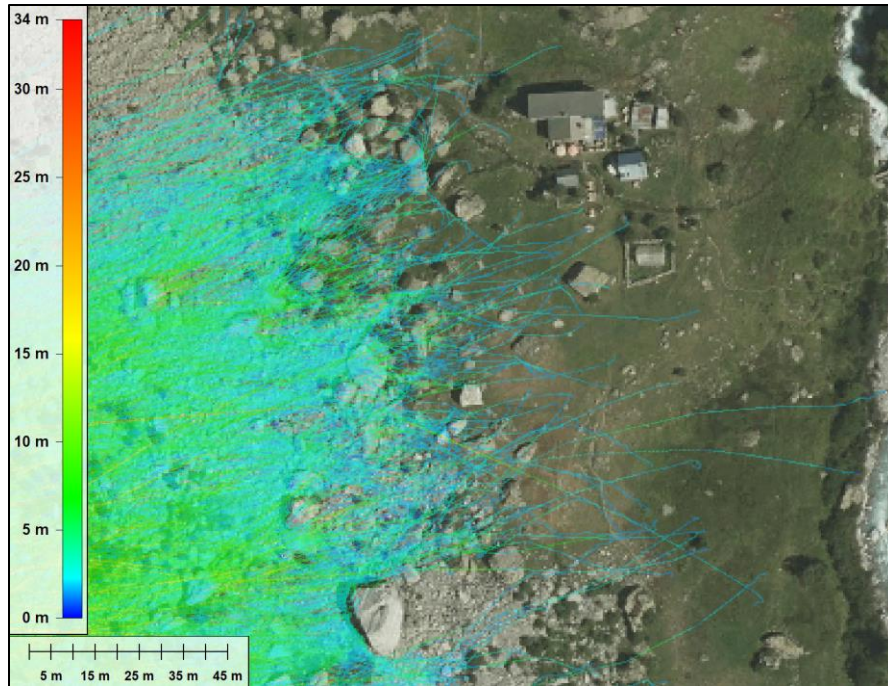


Figure 35 : Extension des trajectoires obtenues avec la configuration de référence (cadre rouge p. 21) pour les zones A2 et A3 [1] – échelle de couleur = énergie cinétique

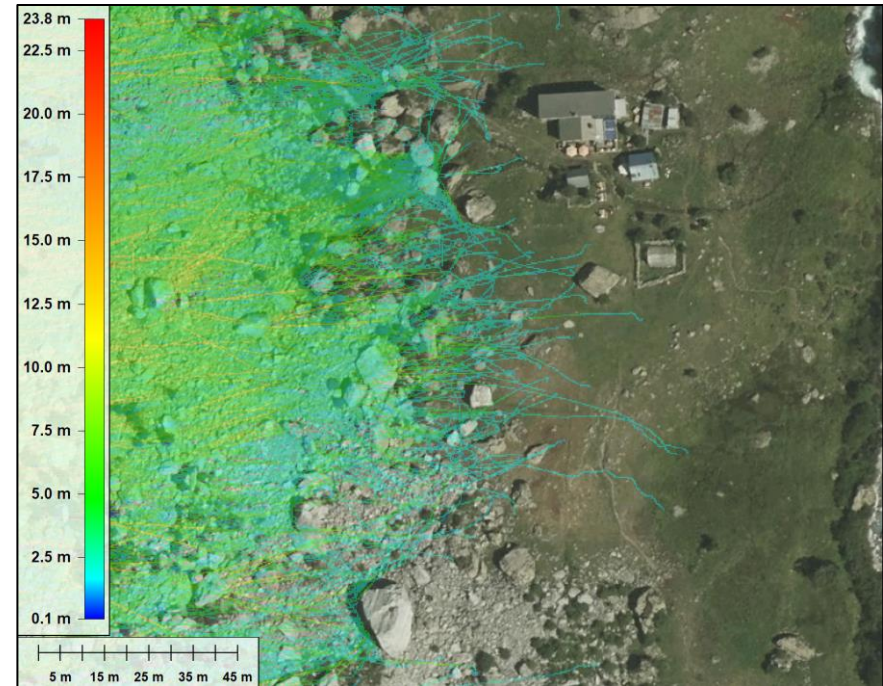


Figure 36 : Extension des trajectoires obtenues avec la configuration de référence (cadre rouge p. 21) pour des départs plus au nord – échelle de couleur = énergie cinétique



## VI. CONCLUSIONS

Grâce à la disponibilité du LidarHD qui a pu régler la question de la représentativité du terrain numérique (notamment par rapport à de précédents calculs sur d'autres supports moins précis), les résultats fournis dans ce rapport permettent de renforcer les conclusions de l'analyse :

- Tout d'abord il s'agit de compiler 3 approches numériques finalement différentes (trajectographie stochastique avec ROC PRO 3D, "avalanche" rocheuse avec l'équation de Voellmy via RAMMS::avalanche et enfin trajectographie déterministe avec RAMMS::ROCKFALL) mais qui toutes convergent quant aux extensions obtenues.
- Ensuite, les calibrations et paramétrages utilisés sont tous conformes aux référentiels utilisateurs accompagnant ces outils et/ou validés sur d'autres cas analogues.
- Enfin et selon ce processus structuré et cadré, les résultats sont parfaitement analogues entre ceux "représentant" (avec une certaine conservativité) l'éboulement de 2011 et ceux issus des nouvelles zones de départ potentielles identifiées.

**De manière objective dans l'état actuel des éléments disponibles et des investigations possibles, le refuge n'apparaît donc menacé ni de manière absolue (par rapport aux résultats numériques pris de manière brute y compris un certain pessimisme) ni de manière relative par rapport à l'éboulement de 2011 :** ce dernier point est notamment crucial puisque malgré cet événement remarquable, ni le refuge ni le hameau n'avaient été touchés à l'époque. Aujourd'hui et de ces points de vue, la situation n'est pas plus mauvaise qu'avant l'événement de 2011, ce qui justifie d'ailleurs les quelques mesures "d'exploitation" qui avaient été prises dans la foulée avec le RTM.

Il est également important de rappeler 2 paramètres de probabilité "temporels" supplémentaires : le refuge n'est occupé qu'une partie de l'année et les trajectoires sont encore plus raccourcies tant que subsiste une couverture

neigeuse, même partielle, ce qui doit aussi concerner le début de la période d'ouverture.

Au final, le cumul de probabilité de (non) atteinte s'avère parfaitement acceptable a fortiori sur un tel site et de manière homogène à son contexte d'accès (De même pour les abords immédiats sachant que l'analyse est d'abord centrée sur la vulnérabilité des bâtiments occupés sauf à remettre en cause la pratique globale du milieu montagnard) ... et accessoirement vu les alternatives éventuellement possibles : par exemple, il est désormais évident que le merlon envisagé un temps, très haut dans le versant (trajectoires hautes, blocs très énergétiques) n'aurait apporté qu'une protection très partielle sans pouvoir arrêter les plus gros blocs pris pour référence ici ... mais qui heureusement s'arrêtent naturellement avant le refuge grâce notamment au réseau de blocs déjà déposés.

Ce réseau de blocs apporte d'ailleurs clairement la meilleure contribution en étant aussi positionné là où les trajectoires sont déjà très émoussées pour pouvoir bien/mieux les influencer. D'une certaine manière et comme dit précédemment, il suffit d'autant que fonctionnellement, le projet a aussi intégré les dispositions favorables suivantes :

- Décalage du centre de gravité des "occupations" plus à l'est
- Pas d'augmentation de la capacité du site

## ANNEXE 4.1 : Analyses trajectographiques– Avis RTM



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



Restoration des Terrains en Montagne  
Service Départemental de l'Isère

**Agence RTM Alpes du Nord  
Service Départemental RTM de l'Isère**

Rapport financé dans le cadre de la mission d'intérêt général  
RTM pour le Ministère de la Transition Ecologique.

**Commune de Saint Christophe en Oisans**  
**Avis sur les études chute de blocs produits dans le cadre du projet de  
rénovation du refuge de la Lavey**

Date de diffusion : 13/10/2023

Version de document : 0.3

Identifiant document : 2023-ONF-RTM 26/38-0075

<b>Liste de diffusion :</b>	<b>Rédigé par :</b>
DDT : <a href="mailto:ddt-ssr@isere.gouv.fr">ddt-ssr@isere.gouv.fr</a>	P. Verry – R. Mainieri
	<b>Validé par :</b>
	M. Schmitt

## Contexte

Dans le cadre du projet de réhabilitation du refuge de la Lavey sur la commune de Saint Christophe en Oisans, et suite à un éboulement s'étant produit en 2011, plusieurs études ont été commanditées par la Fédération française des clubs alpins de montagne (FFCAM) pour prendre en compte l'aléa chute de pierre sur le refuge.

L'avis du RTM est sollicité par la DDT sur ces différentes études et notamment la dernière en date (Engineerisk/Pyrite). A noter que le RTM avait déjà rendu un avis sur l'étude du bureau d'études Pyrite ingénierie en 2022 concernant la mise en place d'une protection de type merlon pare-blocs pour la sécurisation du refuge.

Au moment de la rédaction du présent avis, le RTM dispose des éléments suivants :

Type de document	Titre	Année	Producteur	Commanditaire	Phénomène
Etude	Analyse trajectographiques Refuge de la Lavey V1 22/09/2023	2023	Engineerisk/Pyrite	FFCAM Fédération française des clubs alpins de montagne	Chute de blocs
Avis RTM	Avis sur étude de protection du refuge de la Lavey - Etude PRO Pyrite 21-074	2022	ONF-RTM	Ministère en charge de l'environnement	Chute de blocs
Etude	Diagnostic et prescriptions paravalanches - Projet de rénovation et extension du refuge de la Lavey	2022	Engineerisk	FFCAM	Avalanche
Etude	Rénovation du refuge de la Lavey - Problématique chutes de blocs - Etude géotechnique de projet	2022	Pyrite ingénierie	FFCAM	Chute de blocs
Etude	Refuge de la Lavey - Diagnostic et études géotechniques de sécurisation suite à un éboulement rocheux	2018	Alpes ingé	FFCAM	Chute de blocs
Avis RTM	Eboulement au droit du refuge de la Lavey	2011	ONF-RTM	Ministère en charge de l'environnement	Chute de blocs

Tableau 1. Synthèse des études et avis concernant le refuge de la Lavey depuis 2011.

## Situation

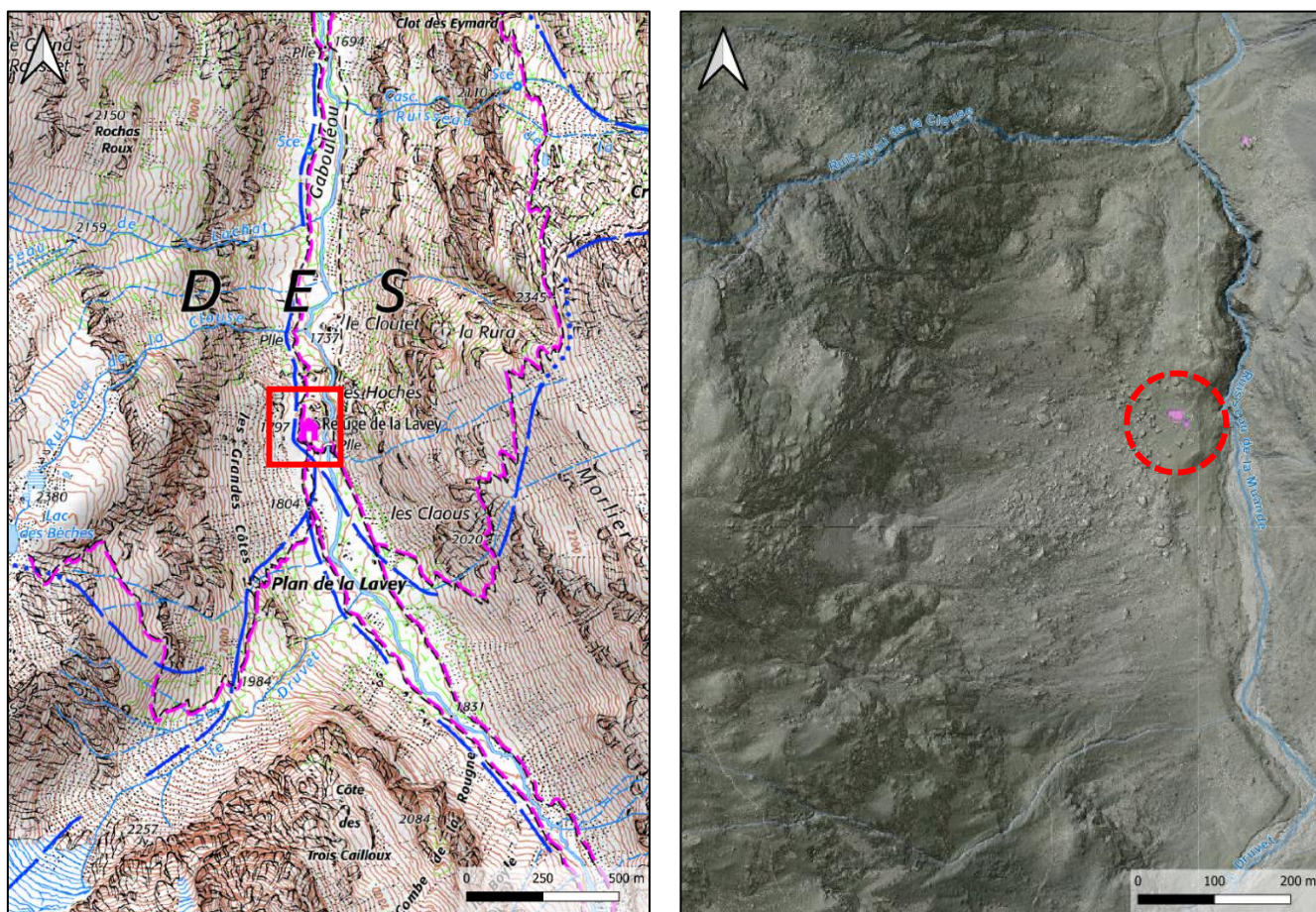


Figure 1. Localisation du refuge de la Lavey (IGN)

## Analyse des documents produits

Depuis 2018, la FFCAM a commandité plusieurs études approfondissant le risque chute de blocs sur le refuge. La première étude d'Alpe Ingé en 2018 permet de caractériser l'aléa au droit de l'éboulement s'étant produit en 2011. Celle de Pyrite Ingénierie en 2022, s'inscrit plus dans une logique de projet de protection. Enfin celle d'Engineerisk/Pyrite Ingénierie, vient compléter les études trajectographiques avec un modèle numérique de terrain plus récent et en intégrant la modélisation d'écroulement rocheux en plus de la modélisation de blocs isolés. Cette étude vise à approfondir l'analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs du refuge dans le cadre du projet de rénovation et d'extension porté par la FFCAM.

Ici, il n'est pas donné d'avis détaillé sur les différentes études et paramètres retenus. Pour autant à ce stade plusieurs éléments ressortent de ces études :

Les analyses menées se sont concentrées sur la zone de départ de l'éboulement de 2011 ou à proximité immédiate. Alpe Ingé indiquait ainsi dans son rapport de 2018 : « *Il est important de noter que cette étude concerne la zone d'éboulement elle-même et les risques qui lui sont associés. D'autres éboulements de même envergure pourraient se produire en d'autres endroits dans le même versant puisque les discontinuités relevées localement sont propres à la structure du massif lui-même.* ». L'étude d'Engineerisk, bien que considérant également une zone de départ plus légèrement au nord ne prend pas en considération l'ensemble de la paroi rocheuse surplombant le refuge qui peut également être considérée comme une zone de départ potentielle.

- Les études réalisées montrent que les écaillles identifiées en bordure de l'évènement de 2011 atteignent difficilement le refuge. Le chaos de gros blocs autour du refuge indique bien cette zone d'atteinte limite. En effet seul certains blocs dépassent cette limite riche en blocs (cf figure 3). Cette zone de gros blocs apporte une protection au refuge qu'illustre bien Engineerisk dans son rapport.

- Les différentes études modélisent des phénomènes assez différents qui illustrent bien les thématiques présentes au niveau du refuge (chute de blocs isolés/ écroulements). Pour autant un travail approfondi sur les zones de départs serait nécessaire pour caractériser l'aléa résultant à ces différents phénomènes, en utilisant utilement les retro analyses faites de l'évènement de 2011.

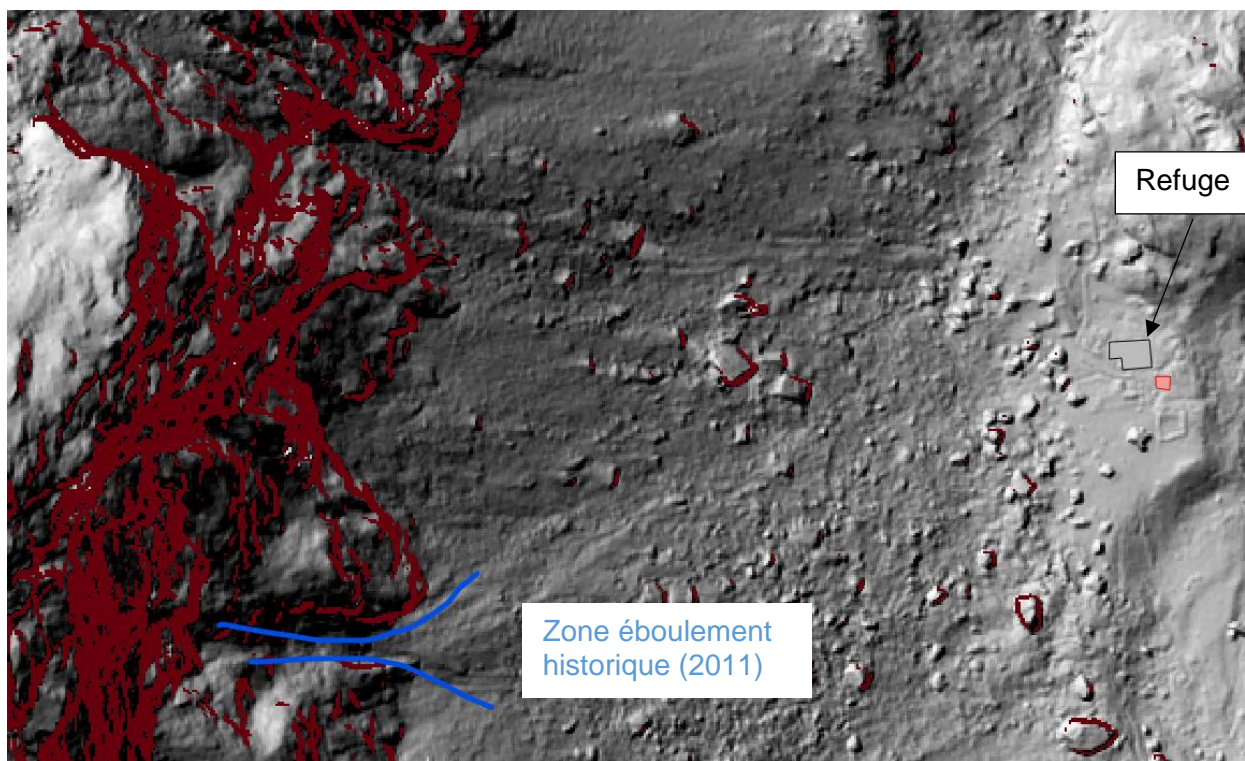


Figure 2. Extrait cartographique avec en fond le Modèle numérique de terrain généré par le LIDAR. En rouge toutes les falaises ayant plus de 60° de pente. En bleue la zone d'éboulement historique analysée dans les différentes études trajectographiques

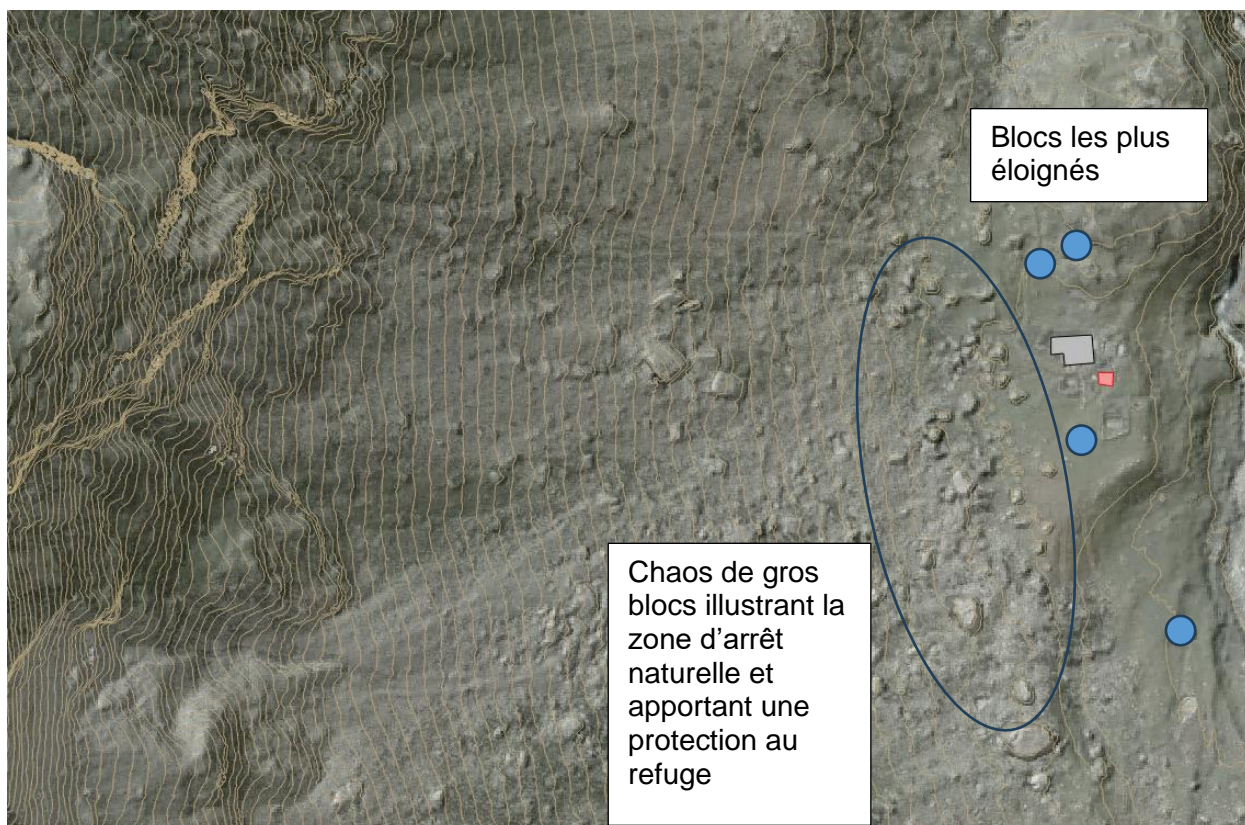


Figure 3. Extrait cartographique illustrant la situation du refuge au regard de la présence des blocs les plus éloignés de la falaise mais visible sur l'orthophotos comme sur le LIDAR

## Analyse complémentaire aux études

Afin de savoir si des blocs peuvent se propager jusqu'au refuge, un profil topographique a été tracé avec un calcul des valeurs d'angle de ligne d'énergie. Les retours d'expériences de plusieurs centaines d'éboulements rocheux montrent que les angles de ligne d'énergie correspondant à des chutes de blocs isolés sont quasi systématiquement compris entre 35 et 30°, très rarement au-delà de cette valeur. Les valeurs de probabilité d'atteinte représentées sont celles proposées dans le cadre de la méthode MEZAP.

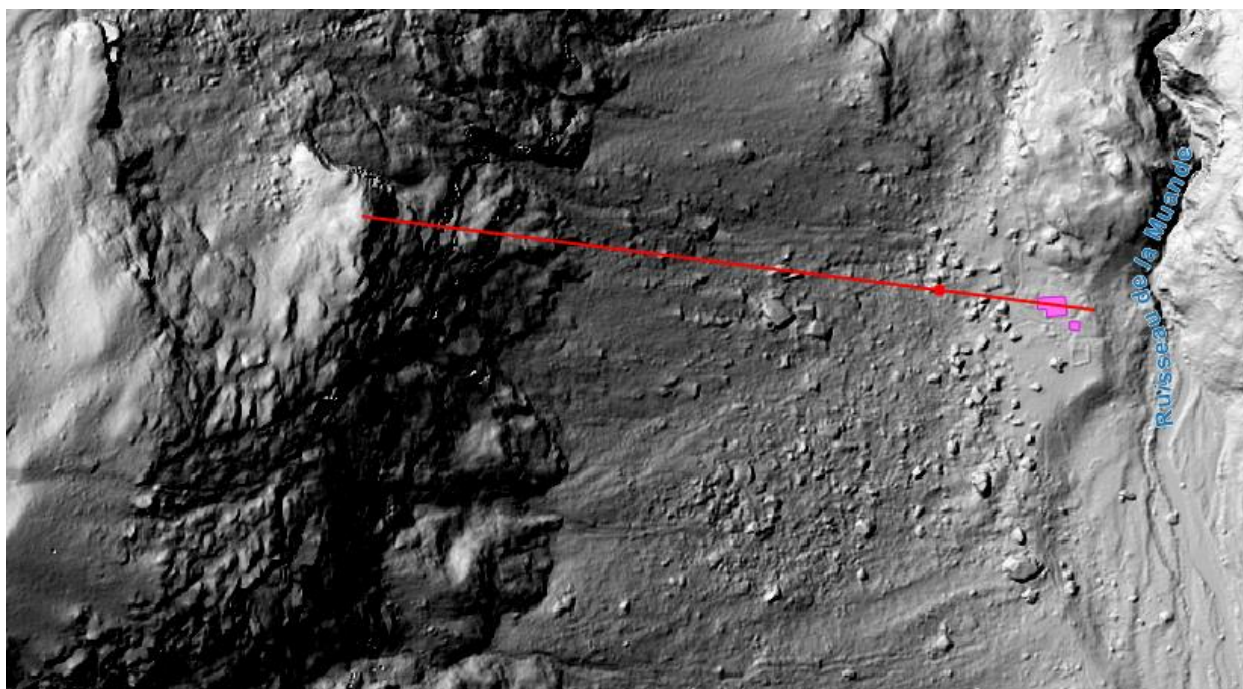


Figure 4. Profil utilisé pour le calcul de l'angle de ligne d'énergie et pour les probabilités d'atteintes tels que présentés dans la note MEZAP

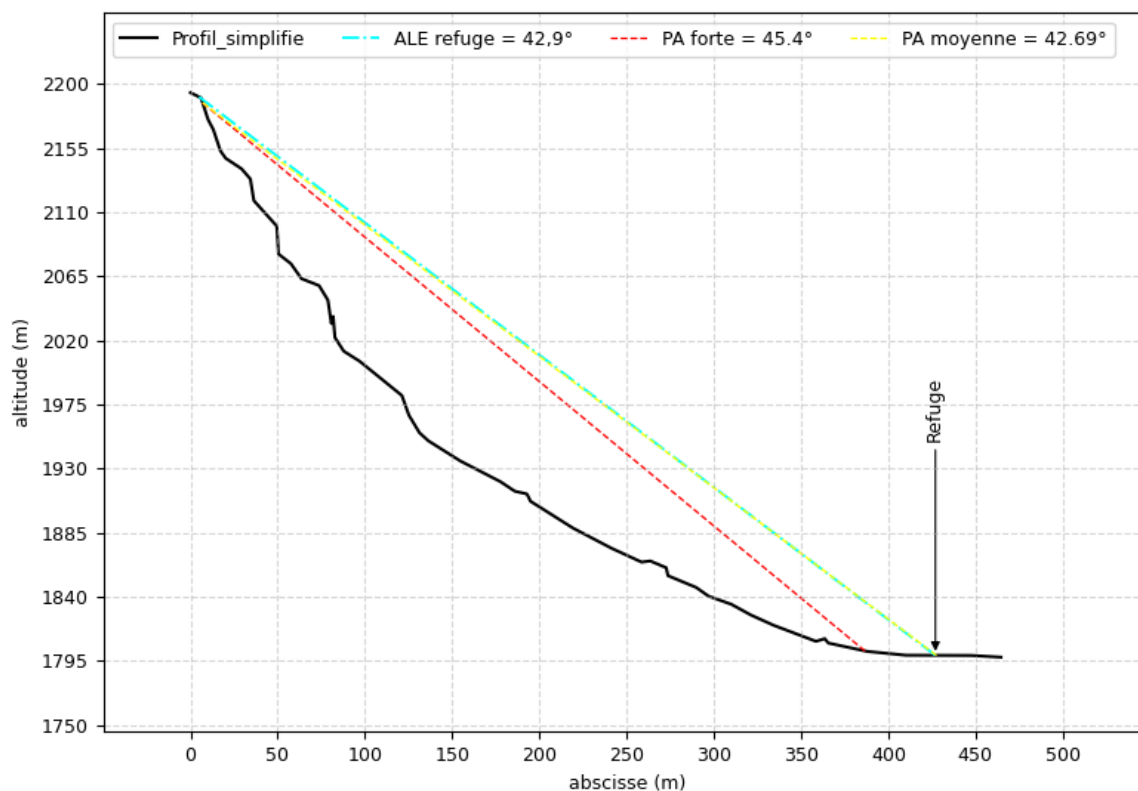


Figure 5. Résultats des valeurs d'angles de ligne d'énergie et des probabilités d'atteintes au droit du refuge


Ici, pour le profil étudié, la valeur d'angle d'énergie entre la zone de départ potentielle et le refuge est d'environ 43° soit une probabilité de propagation jugée comme moyenne. En considérant la probabilité de départ forte (1/an) et la probabilité qu'un bloc d'un volume unitaire supérieur à 10m<sup>3</sup> se propage, la probabilité qu'un bloc atteigne le refuge est considérée comme moyenne (10<sup>-5</sup> à 10<sup>-4</sup>). Ces éléments permettent de considérer que le refuge est situé en aléa fort de chutes de pierres/blocs.

## Avis du RTM

L'avis du RTM en 2011 concluait sur le fait que le « refuge ne court pas plus de risques qu'avant » [l'évènement] et les études réalisées vont globalement dans ce sens. Pour autant l'évaluation de l'aléa chute de blocs sur le refuge n'a pas été réalisée.

A ce stade, au regard des études réalisées, de la présence de blocs sur le terrain et de l'analyse des valeurs d'angle d'énergie, nous pouvons retenir les points suivants :

- Le refuge est globalement bien placé et le terrain naturel, en particulier le chaos de gros blocs apporte une protection ;
- L'aléa impactant le refuge est identique depuis sa création ;
- Pour autant l'atteinte par un bloc ne peut être exclue en particulier sur des profils plus défavorables que ceux de l'éboulement de 2011.
- D'après le guide MEZAP et le CCTP aléas de l'Isère (2022), le refuge est situé **en aléa fort chute de blocs** du fait d'une intensité considérée comme très forte (bloc > 10m<sup>3</sup>) et d'une probabilité d'atteinte qualifiée de moyenne en prenant en compte des profils plus défavorables.
- De ce point de vue, il est nécessaire à minima que les travaux de rénovation du refuge n'accroissent pas la vulnérabilité des personnes.

Rédacteur de l'avis	<p style="text-align: center;"><b>Validation</b></p> <p style="text-align: center;">L'Ingénieur des Travaux RTM</p>  <p style="text-align: center;">Mathieu Schmitt</p>
---------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## ANNEXE 4.2 : Analyses trajectographiques– Avis DDT



---

**De :** ESPINASSE Fabien - DDT 38/SSR/AR2

**Envoyé le :** lundi 11 décembre 2023 14:05

**À :** c.bechet

**Cc :** Maria Isabel Le Meur; Benoit Poirier; NAVILLE Ségolène - DDT 38/SSR; ROQUES Veronique - DDT 38/SSR/AR2; ROBERT Yannick; mathieu.schmitt; COTTET-DUMOULIN Laurence - DDT 38/SASE/IT; MAQUERET Pierre-Alain - DDT 38/SAET/IADS

**Objet :** RE : [La Lavey] Analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs

Bonjour,

à la suite de l'étude du 22/09/2023 menée par Engineerisk sous la supervision de Pyrite Ingénierie et sous maîtrise d'ouvrage FFCAM, nous avons consulté les services du RTM pour analyse de l'étude. Le RTM nous a transmis un rapport du 13/10/2023 que vous trouverez en pièce jointe.

Au vu de ces éléments et du rapport du RTM, nous considérons que le refuge de la Lavey est bien exposé à un aléa fort de chutes de blocs.

Toutefois, au vu de l'étude Engineerisk, du rapport du RTM, du fait que le projet n'aboutit pas à une augmentation de la capacité d'accueil du refuge et du fait que le projet contient certains aménagements de nature à réduire la vulnérabilité (déplacement du local de sommeil dans la partie aval du bâtiment), nous vous informons que la DDT n'a plus d'observation à formuler sur le projet de réhabilitation et de mise aux normes du refuge de la Lavey concernant le sujet de la prise en compte des risques naturels majeurs.

Bien cordialement

**Fabien ESPINASSE**

SSR/AR2

Direction Départementale des Territoires de l'Isère

17 boulevard Joseph-Vallier 38040 GRENOBLE

Tel : +33 4 56 59 43 65

[www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr)



**PRÉFET  
DE LA RÉGION  
AUVERGNE-  
RHÔNE-ALPES**

Direction Départementale des Territoires de l'Isère

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

Le 16/11/2023 à 09:50, > c.bechet (par Internet) a écrit :

Bonjour Monsieur ESPINASSE,

Seriez-vous disponible dans les prochaines semaines pour organiser une réunion dans vos locaux afin d'échanger sur le risque de chute de blocs au refuge de La Lavey ? En effet, dès réception de l'avis de la DDT sur cette problématique, nous serons en mesure de relancer / d'adapter le programme de travail de notre équipe de maîtrise d'œuvre. Sachant que les conditions d'enneigement et d'accessibilité sur le site contraignent énormément les travaux à cette altitude, si nous prenons plus de retard, nous risquons de devoir décaler le planning des travaux d'une année complète.

Je me tiens à votre disposition pour vous fournir les éléments vous permettant d'avancer sur le sujet.

Bien cordialement,



**Christophe BÉCHET**

Chargé d'Opération  
Commission Territoriale Hébergements des Ecrins



Tèl: 06.31.06.20.68

Email: [c.bechet@ffcam.fr](mailto:c.bechet@ffcam.fr)

24 avenue de Laumière, 75019 Paris / Bâtiment La Ruche, 256 rue de la République, 73000 Chambéry

[www.ffcam.fr](http://www.ffcam.fr)

---

**De :** [Christophe BECHET](#)

**Envoyé le :** mercredi 8 novembre 2023 10:56

**À :** [ESPINASSE Fabien - DDT 38/SSR/AR2](#)

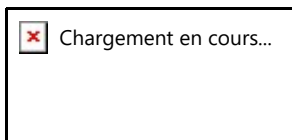
**Cc :** [Maria Isabel Le Meur](#)

**Objet :** RE : [La Lavey] Analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs

Bonjour,

Afin de planifier au mieux le programme de travail de notre équipe de maîtrise d'œuvre, avez-vous une idée de la date à laquelle vous aurez statué concernant l'arbitrage en interne de la DDT sur le risque de chute de blocs au refuge de La Lavey ?

Bien cordialement,



**Christophe BÉCHET**

Chargé d'Opération  
Commission Territoriale Hébergements des Ecrins

Tèl: 06.31.06.20.68

Email: [c.bechet@ffcam.fr](mailto:c.bechet@ffcam.fr)

24 avenue de Laumière, 75019 Paris / Bâtiment La Ruche, 256 rue de la République, 73000 Chambéry

[www.ffcam.fr](http://www.ffcam.fr)



---

**De :** [Christophe BECHET](#)

**Envoyé le :** mardi 24 octobre 2023 15:43

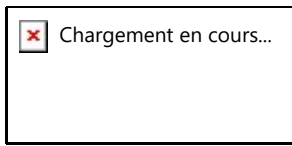
**À :** [ESPINASSE Fabien - DDT 38/SSR/AR2](#)

**Objet :** RE : [La Lavey] Analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs

Bonjour,

J'accuse bonne réception de votre message. J'attends donc votre retour lorsque vous aurez obtenu cet arbitrage en interne de la DDT.

Bien cordialement,



**Christophe BÉCHET**

Chargé d'Opération  
Commission Territoriale Hébergements des Ecrins

Tèl: 06.31.06.20.68

Email: [c.bechet@ffcam.fr](mailto:c.bechet@ffcam.fr)

24 avenue de Laumière, 75019 Paris / Bâtiment La Ruche, 256 rue de la République, 73000 Chambéry

[www.ffcam.fr](http://www.ffcam.fr)



---

**De :** [ESPINASSE Fabien - DDT 38/SSR/AR2](#)

**Envoyé le :** mardi 24 octobre 2023 11:53

**À :** [c.bechet](#)

**Cc :** [VERRY Pierre](#); [mathieu.schmitt](#); [Maria Isabel Le Meur](#); [Benoit Poirier](#); [Christine Gachet](#); [Philippe BERTHET-RAMBAUD](#); [ROQUES Veronique - DDT 38/SSR/AR2](#)

**Objet :** RE : [La Lavey] Analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs

Bonjour,

je vous informe que nous avons bien reçu le retour technique du RTM sur ce dossier et nous en sommes actuellement en phase d'arbitrage en interne DDT. Nous reviendrons vers vous après avoir obtenu cet arbitrage.

Bien cordialement

**Fabien ESPINASSE**

SSR/AR2

Direction Départementale des Territoires de l'Isère

17 boulevard Joseph-Vallier 38040 GRENOBLE

Tel : +33 4 56 59 43 65

[www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr)



**PRÉFET  
DE LA RÉGION  
AUVERGNE-  
RHÔNE-ALPES**

Direction Départementale des Territoires de l'Isère

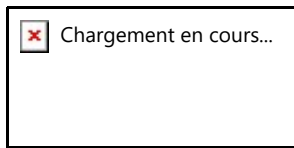


Le 23/10/2023 à 09:34, > c.bechet (par Internet) a écrit :

Bonjour Monsieur ESPINASSE,

Je viens aux nouvelles concernant l'étude d'exposition aux risques de chutes de blocs du refuge de La Lavey. Avez-vous eu un retour technique du RTM sur ce dossier ?

Bien cordialement,



## Christophe BÉCHET

Chargé d'Opération  
Commission Territoriale Hébergements des Ecrins

Tèl: 06.31.06.20.68

Email: [c.bechet@ffcam.fr](mailto:c.bechet@ffcam.fr)

24 avenue de Laumière, 75019 Paris / Bâtiment La Ruche, 256 rue de la République, 73000 Chambéry

[www.ffcam.fr](http://www.ffcam.fr)



---

**De :** [ESPINASSE Fabien - DDT 38/SSR/AR2](#)

**Envoyé le :** jeudi 28 septembre 2023 15:18

**À :** [c.bechet](#)

**Cc :** [VERRY Pierre](#); [mathieu.schmitt](#); [Maria Isabel Le Meur](#); [Benoit Poirier](#); [Christine Gachet](#); [Philippe BERTHET-RAMBAUD](#); [ROQUES Veronique - DDT 38/SSR/AR2](#); [NAVILLE Ségolène - DDT 38/SSR](#)

**Objet :** Re: [La Lavey] Analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs

Bonjour,

nous accusons bonne réception de cette étude. Nous allons demander une analyse de cette étude au RTM avant de revenir vers vous.

Cordialement



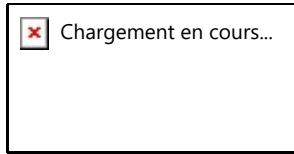
Le 26/09/2023 à 19:48, > c.bechet (par Internet) a écrit :

Bonjour,

Dans le cadre de la rénovation du refuge de La Lavey, une nouvelle étude a été menée pour approfondir l'analyse de l'exposition aux risques de chutes de blocs du refuge. Cet approfondissement se base sur le recours à différents logiciels de modélisation mais surtout ces nouveaux calculs bénéficient de la mise à disposition du nuage brut des relevés Lidar IGN dans le cadre du programme de couverture nationale LIDARHD avec une résolution de 30cm. Cette étude a été menée par Engineerisk sous la supervision de Pyrite Ingénierie.

Veuillez trouver en pièce jointe le rapport issu de cette étude. Nous nous tenons disponibles pour échanger sur le contenu de cette étude et faire une présentation technique des résultats et conclusions si nécessaire.

Bien cordialement,



**Christophe BÉCHET**

Chargé d'Opération  
Commission Territoriale Hébergements des Ecrins

Tèl: 06 31 06 20 68

Email: [c.bechet@ffcam.fr](mailto:c.bechet@ffcam.fr)

24 avenue de Laumière, 75019 Paris / Bâtiment La Ruche, 256 rue de la  
République, 73000 Chambéry

[www.ffcam.fr](http://www.ffcam.fr)



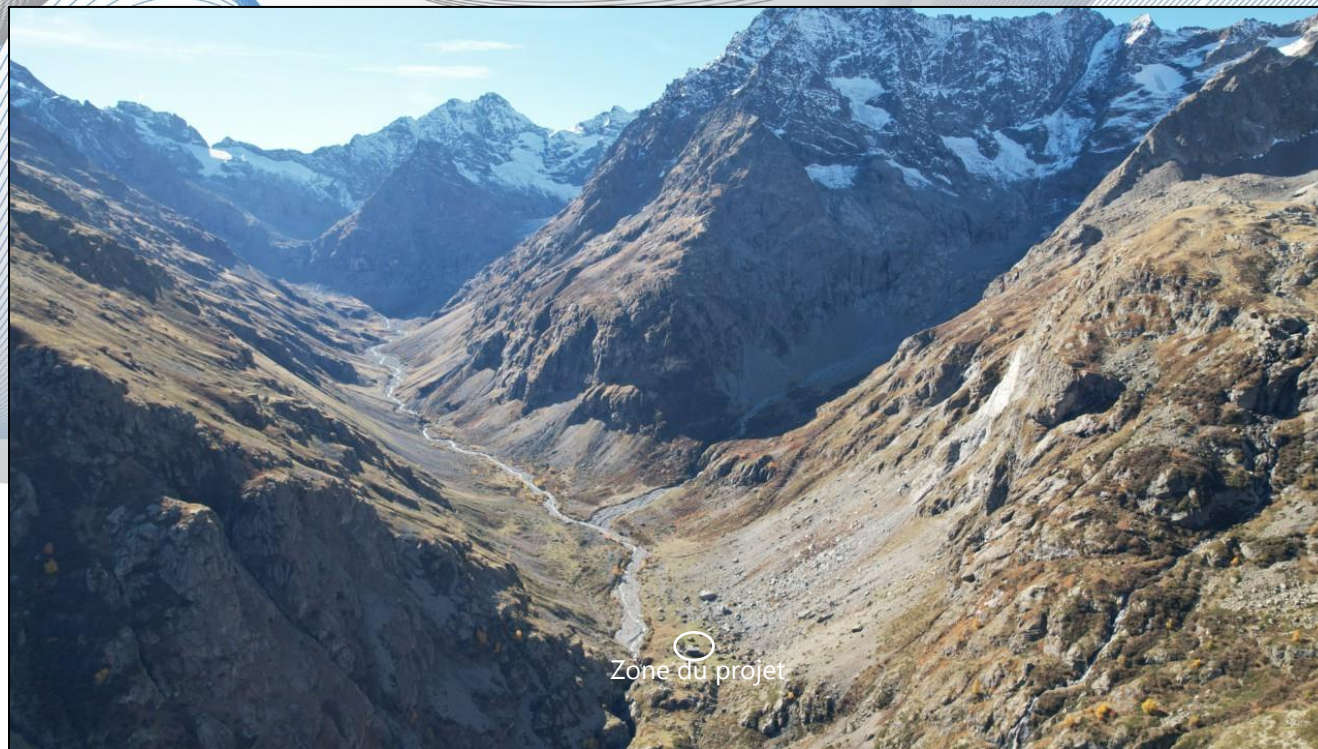
## ANNEXE 5 : Diagnostic avalanche - Engineerisk



# DIAGNOSTIC & PRESCRIPTIONS PARAVALANCHES

## **Projet de rénovation et extension du Refuge de la Lavey – St-Christophe en Oisans**

V0 du 17/11/2022

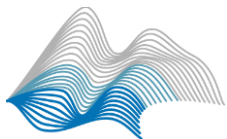


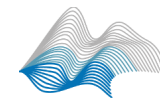
### **ENGINEERISK**

690 route de la Motte Servolex 73160 Saint-SULPICE / FR

☎ : + 33 (0)6 23 75 04 44 - Site Web : [www.engineerisk.com](http://www.engineerisk.com)

Siret : 499 774 032 000 35 - SAS au capital de : 11 870 €





## Etude réalisée par Engineerisk

Rédigée par : Dr. Ing. Philippe BERTHET-RAMBAUD

☎ : +33 (0)6 23 75 04 44

✉ : pbr@engk.fr

Visa:

Relue par : Ing. Fanny BOURJAILLAT

☎ : +33 (0)6 23 75 06 42

✉ : fb@engk.fr

Visa :

Ce rapport contient 20 pages et constitue un tout indissociable ; une utilisation partielle n'engage pas la responsabilité d'Engineerisk

Sauf mention contraire : crédits photos Engineerisk / figures en plan orientées nord vers le haut/ Fond orthophoto Géoportail

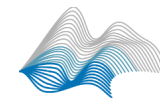
Référence : FRA572

Version 0 du 17/11/2022

## REFERENCES

- [1] Visite et observations sur site le 19/10/2022 y compris prises de vue aériennes sous couvert de la décision nominative n° 10243078/ portant autorisation spéciale de survol motorisé en cœur du Parc national des Ecrins aux seules fins de la présente étude
- [2] RGE Alti 1m, source : IGN
- [3] Atelier 17c architectes, Rénovation et extension du refuge de la Lavey, APS, 17/06/2022
- [4] PYRITE Ingénierie, Rénovation du refuge de la Lavey, problématique chutes de blocs, étude géotechnique de projet, Affaire 21/074 indice A, 20/08/2022
- [5] Guide méthodologique, Plan de prévention des risques naturels, Avalanches, aout 2015 (+ correctif février 2022)
- [6] DGPR, note méthodologique, Qualification et cartographie des avalanches de référence exceptionnelles dans les plans de prévention des risques naturels (PPRN), février 2022

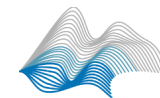




---

## SOMMAIRE

Références .....	2
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ETAT DES RISQUES CONNUS .....</b>	<b>5</b>
<b>3. SITUATION REGLEMENTAIRE.....</b>	<b>6</b>
<b>4. ANALYSE COMPLEMENTAIRE .....</b>	<b>7</b>
A. Préambule.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
B. Epaisseurs mobilisables.....	12
C. Outil de modélisation – Avalanches aérosol – RAMMS étendu.....	14
D. Résultats .....	17
<b>5. DISCUSSION &amp; CONCLUSIONS.....</b>	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>



# 1. INTRODUCTION

Les analyses à suivre ont été réalisées pour le compte de la FFCAM dans le cadre de son projet de rénovation et d'extension du refuge de la Lavey dans le Parc des Ecrins.

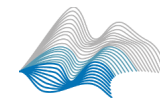
Comme l'illustrent les figures ci-contre, il s'agit globalement d'étendre le bâtiment principal vers l'est et de reprendre également l'abri du berger en plus d'aménagements connexes (assainissement, captage, turbinage...).

L'objet de ce rapport est donc d'établir le diagnostic de ce projet vis-à-vis des problématiques d'avalanches en l'inscrivant dans les critères de la doctrine PPR [5] telle qu'appliquée par la DDT 38.

A noter que le projet touchant aussi les annexes actuelles du bâtiment principal, il pourra tout aussi bien être mentionné "refuge de la Lavey" ou "hameau de la Lavey" pour désigner tout cet ensemble.



Figure 1 – Vue globale du projet de rénovation et extension du refuge de la Lavey (en bas [3]) par rapport à la situation actuelle (en haut [1])



## 2. ETAT DES RISQUES CONNUS

Une des particularités du site est de ne pas être cartographié dans le cadre de la Carte de Localisation des Phénomènes Avalancheux (CLPA) qui s'arrête aux versants dominant directement le Vénéon. De même, ni l'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA), ni le classement "Sites Sensibles Avalanches" ne recourent des couloirs locaux. Enfin, le porté à connaissance au titre du R111-3 établi en 1976 pour la Commune de Saint Christophe en Oisans ne mentionne pas plus de phénomène avalancheux au niveau du Plan de la Lavey (Figure 2).

Finalement, l'interview du gardien de refuge lors de [1] confirme l'absence de phénomènes effectivement remarquables à proximité du refuge : si des avalanches éventuellement importantes coupent de manière récurrente le vallon à l'aval et à l'amont, les pentes proches présentent une configuration défavorable à des phénomènes d'ampleur comme le montrent les analyses suivantes.

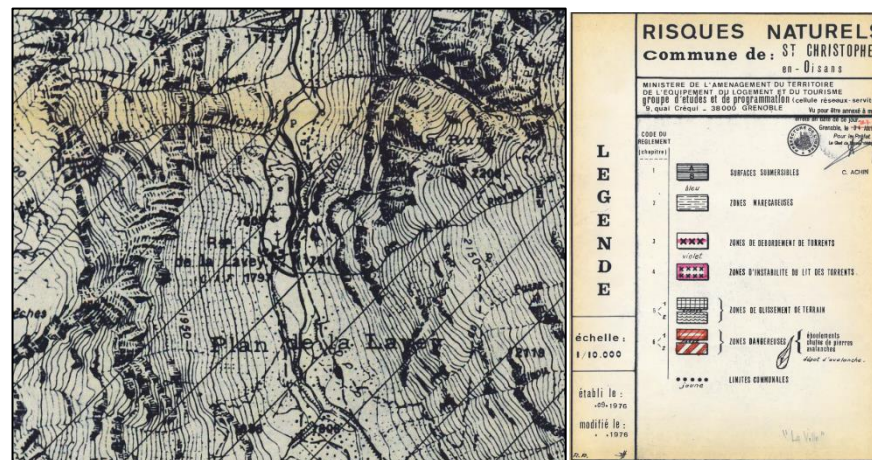
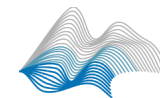


Figure 2 – Extrait du R111-3 établi en 1976 aux alentours du refuge



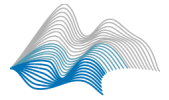
### 3. SITUATION REGLEMENTAIRE

Du point de vue urbanistique, la commune de Saint-Christophe en Oisans ne dispose pas d'un PPRN avalanches : même si la zone du refuge aurait potentiellement été en dehors du périmètre règlementé, cela aurait pu permettre de disposer au moins de l'analyse des aléas correspondantes.

Dans ces conditions, il s'agit donc d'y pallier par les évaluations nécessaires en cohérence avec la doctrine ([5] & [6]). S'agissant d'un refuge non gardé en hiver, l'analyse est logiquement centrée sur l'avalanche centennale au titre de l'ARC (Aléa de Référence Centennale - Figure 3) qui conditionne la constructibilité au travers d'éventuelles prescriptions architecturales. L'ARE (Aléa de Référence Exceptionnel) est une notion relative dans le contexte des lieux et de l'usage mais est aussi abordée rapidement.

Aléa	Indice	Critères
Fort	A3	Zone d'écoulement des avalanches coulantes et mixtes Zone d'arrêt des avalanches coulantes, avec des dépôts denses et épais de plusieurs mètres Zone où des bâtiments, même renforcés, ont subi des dommages structurels lourds Zone de transit de puissants aérosols, avec destruction de boisements entiers Zone soumise à des pressions d'impact > 30 kPa, en cas de simulations numériques
Moyen	A2	Fin de zone d'arrêt des avalanches coulantes/mixtes de neige sèche, avec des dépôts peu denses et peu épais (< 2 m) Zone d'écoulement et d'arrêt de coulées de neige diffuses et non canalisées Zone où des bâtiments renforcés n'ont subi que des dommages mineurs Zone de transit des aérosols avec dégâts localisés dans le boisement... Zone soumise à des pressions d'impact comprises entre 30 et 3 kPa, en cas de simulations.
Faible	A1	Zone de dispersion des aérosols, avec des dégâts isolés et limités (branches cassées...), purge de petits talus < 20 m Zone où des bâtiments, même non renforcés, n'ont subi que des dommages mineurs (vitrages cassés, tuiles ou lauzes déplacées, plâtrage...) Zone soumise à des pressions d'impact comprises entre 1 et 3 kPa, en cas de simulations.

Figure 3 – Rappel des critères correspondant à chaque niveau d'aléa avalanche tels que retenus par la DDT38 pour l'ARC



## 4. ANALYSE GENERALE

### A. CONFIGURATION DU SITE

En l'absence d'éléments tangibles sur les avalanches du secteur, l'analyse du site prend une importance toute particulière, en combinant analyses topographiques (issues de [2]) et observations de terrain [1].

D'un point de vue local, le refuge est situé en limite nord/aval du plan de la Lavey (lui-même bien visible sur la photo de couverture, orientée vers le sud) sur un replat dominant/en rive gauche orographique du ruisseau de la Muande (distant d'une bonne cinquantaine de mètres et à peine 20m sous l'altitude du refuge : 1797m) et au droit d'un important verrou en rive droite (Figure 4).

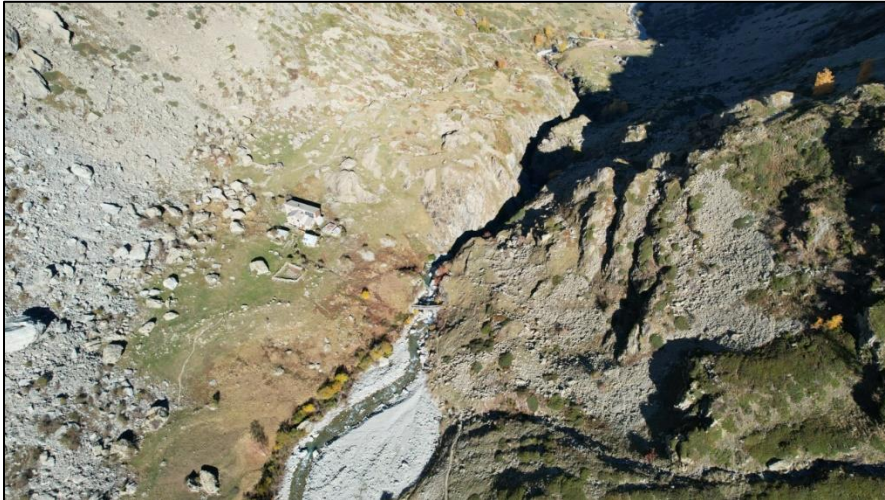


Figure 4 – Situation locale du refuge de la Lavey [1]

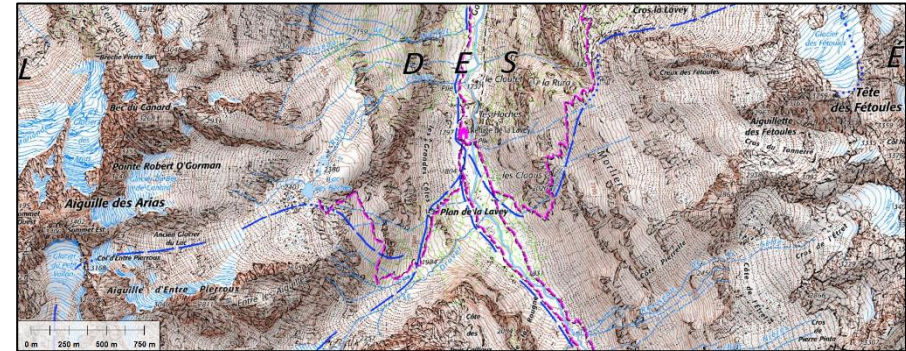
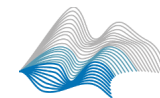


Figure 5 – Situation générale du refuge de la Lavey (source : Géoportail)

A l'échelle des versants alentours (Figure 5), le site est dominé par des sommets et lignes de crête à plus de 3000m d'altitude:

- En rive droite par le versant ouest de la Tête des Fétoules (Figure 8) : comme le montre la carte des pentes (Figure 6), la partie sous les crêtes rocheuses sommitales y alterne quelques bandes à peine suffisamment pentues jusqu'à un quasi-replat (au-dessus de "Morlier" sur la carte) vers 2300m. La partie aval est plus uniformément raide mais présente à la fois un relief parfois assez chaotique où ne se dessine pas de couloir d'ensemble et surtout une orientation générale presque vers le sud ouest (Figure 7) et qui ne vise pas directement le refuge (comme le confirme la vue aérienne de la Figure 10) : avec la configuration de verrou tout à l'aval (Figure 4), celui-ci est donc normalement en dehors de toute trajectoire préjudiciable issue de ce versant.



- En rive gauche par le versant est de l'Aiguille des Arias et de ses satellittes (Aiguille d'Entre Pierroux au sud, Pointe Robert O'Gorman - Figure 9). La situation y est encore plus marquée qu'en rive droite avec toujours des pentes sommitales propices mais qui dominent des éboulis juste entrecoupés par une bande raide vers 2500m au-dessus d'une véritable cuvette correspondant au lac des Bêches (2401m). Selon la direction considérée, son rebord présente une remontée de 10 à 15m de dénivelée en plus de la distance horizontale à couvrir : cette configuration compartimente clairement ce versant rive gauche entre amont et aval et c'est bien la zone aval qui est potentiellement la plus préjudiciable pour le refuge. On y constate quelques pentes potentiellement propices à quelques départ entre rochers et zones herbeuses vers 2300m (Figure 11) au-dessus d'une véritable "barre" (où s'est d'ailleurs produit l'éboulement de 2011 [4] dont les traces sont encore bien visibles vers 2100-2200m légèrement décalées vers le sud/au-dessus du refuge) très raide où peu d'accumulations sont possibles avant à nouveau des éboulis encore raides. Contrairement à la rive droite, l'orientation de ces dernières pentes est bien assez uniforme vers l'est (Figure 7) pour pouvoir viser le refuge (Figure 12). En parallèle, cette uniformité ne montre pas non plus de convergence particulière qui aurait pu être défavorable. Enfin, le dernier point remarquable pour ce côté-là est la présence de (très) gros blocs plurimétriques posés juste à l'amont du refuge, au pied des dernières pentes (Figure 13). Vu leur taille, ces blocs dépassent forcément du manteau neigeux hivernal pour présenter des particularités topographiques réelles ... même si elles n'apparaissent pas dans le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la RGEalti [2]. Certains de ces blocs sont d'ailleurs issus de l'éboulement précité [4].

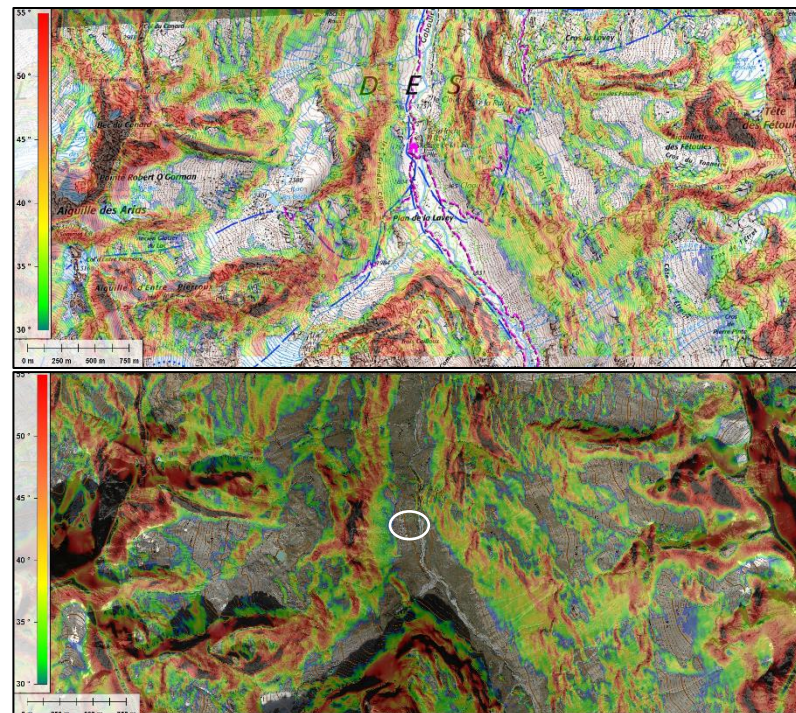


Figure 6 – Carte des pentes (issue de [2]) propices aux départs d'avalanches (i.e. entre 30 et 55°), en haut sur carte IGN, en bas sur orthophoto

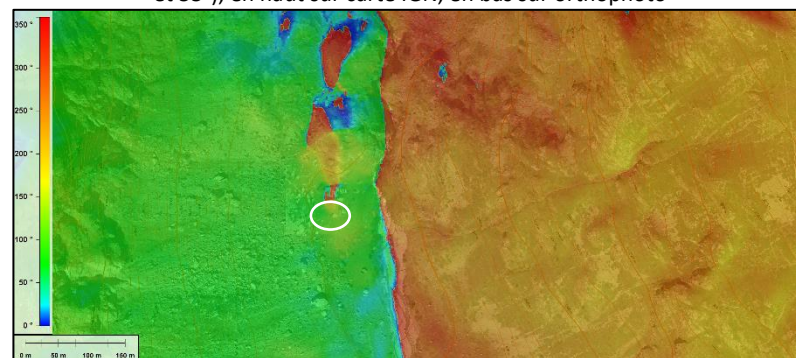


Figure 7 – Carte des orientations (issue de [2]) : 0° = nord, 90° = est, 180°=sud, 270°=ouest sur fond orthophoto

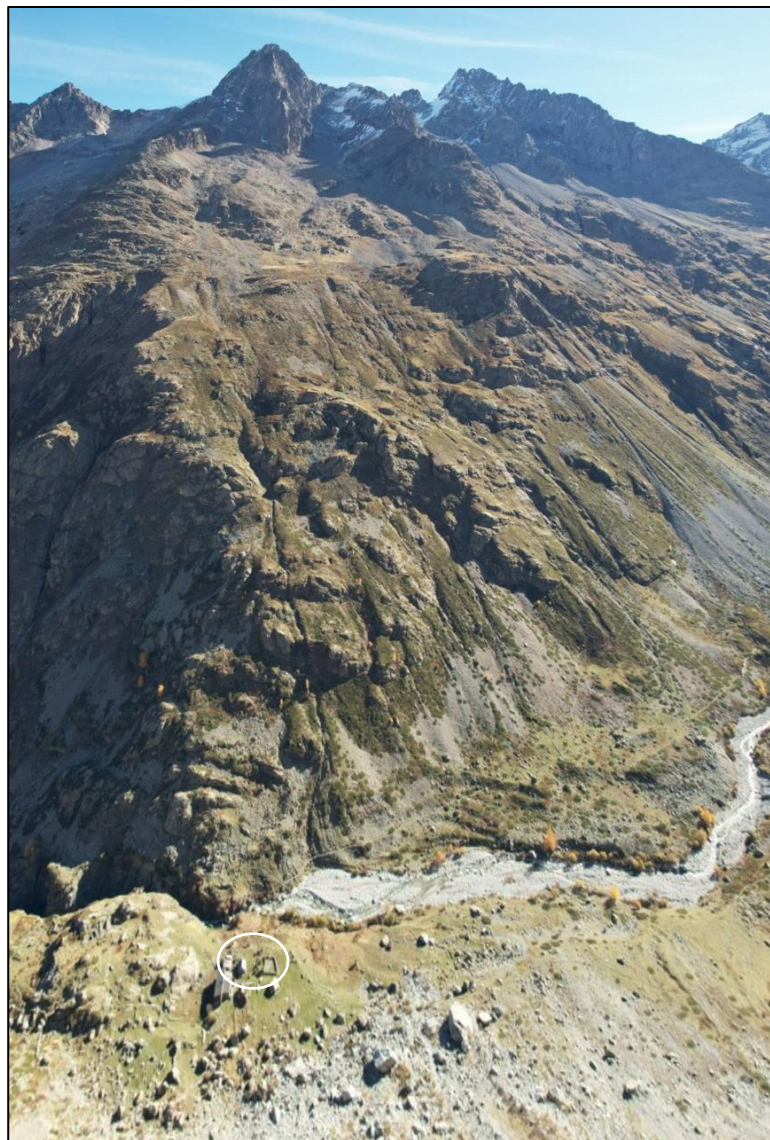
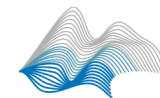


Figure 8 – Versant rive droite des pentes ouest sous la Tête des Fétoules (3359m) [1]



Figure 9 – Versant rive gauche des pentes est sous l'Aiguille des Arias (3402m) [1]

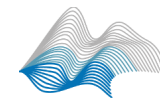


Figure 10 – vue en plongée de la partie aval du versant rive droite avec une orientation qui vise clairement de manière décalée par rapport au refuge [1]



Figure 12 – vue en plongée de la partie aval du versant rive gauche avec une orientation uniforme qui peut clairement viser en direction du refuge [1]

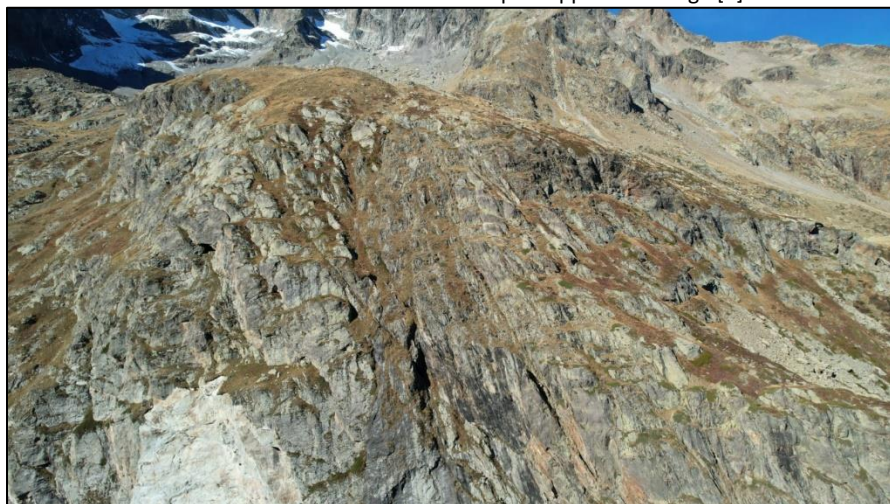


Figure 11 – vue des zones de pentes potentiellement propices au-dessus de la barre rocheuse qui domine le refuge (zone de l'éboulement de 2011 bien visible en bas à gauche) [1]



Figure 13 – vue des différents blocs au pied des dernières pentes du versant rive gauche [1]



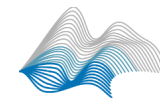
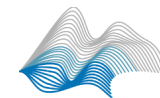


Figure 14 – vue des pentes qui dominent directement le refuge à l’ouest avec la principale barre rocheuse [1]



## B. EPAISSEURS MOBILISABLES

En vue d'analyses quantitatives des phénomènes et en partant de l'hypothèse qu'une avalanche d'une période de retour donnée est elle-même issue de l'épaisseur mobilisable correspondante, il s'agit donc d'estimer ces épaisseurs mobilisables à partir de l'analyse statistique des précipitations.

Il faut cependant signaler l'aspect délicat (mais en même temps incontournable) de ce genre d'estimations :

- Les séries de données disponibles sont courtes (quelques décennies au mieux) et il est donc hasardeux de faire des extrapolations à (trop) long terme. Par ailleurs, les valeurs erronées ou manquantes ne sont pas rares dans les séries de données brutes (défaillance des appareils de mesure, impossibilité d'accéder).
- Les méthodes statistiques comportent toutes leurs biais et les valeurs des précipitations extrêmes sont définies avec une certaine imprécision (écarts possibles jusqu'à 75%).
- D'autres influences (transport de neige par le vent) peuvent contribuer de manière non négligeable aux épaisseurs présentes.

Il convient donc de garder une attitude prudente sur cette démarche en restant capable d'évaluer la vraisemblance des résultats et/ou le cas échéant d'en tester la sensibilité. Ici, la méthode IFENA 1992<sup>1</sup> fait toujours référence pour structurer la démarche. En termes de données, le CEMAGREF (désormais INRAe) a réalisé, en 2006-2007, une étude pour de nombreux postes du réseau pluviométrique de Météo-France et permettant de

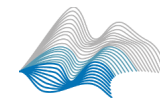
<sup>1</sup> Burkard A., Salm B., Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit do zur Berechnung von Fließlawinen/Estimation de l'épaisseur moyenne de

disposer de données « officielles » (disponibles sur [www.avalanches.fr](http://www.avalanches.fr)). La variable restituée est la hauteur des précipitations hivernales (sur la période du 15 novembre au 15 mai) exprimée en mm d'eau, cumulée sur 1 à 3 jours et pour des temps de retour de 2 à 100 ans. Ces lames d'eau sont à convertir en équivalent neigeux considérant une densité communément admise de 125 kg/m<sup>3</sup> pendant la chute. Le cas échéant, ces valeurs peuvent également être extrapolées jusqu'au tri-centennal en majorant le trentennal de 40% (en moyenne).

Une fois ces valeurs liées aux périodes de retour obtenues pour le site de mesure et sur un terrain plat, il convient donc de les corriger :

- Tout d'abord en intégrant le tassement naturel : pour 3 jours, une valeur conservative de 15% peut être admise, supposée indépendante de l'altitude. Le tassement est considéré négligeable en 24 heures et de 10% en 48 heures.
- En extrapolant les valeurs à l'altitude des zones de départ. Pour 3 jours, on trouve dans la littérature des valeurs de gradients nivométriques entre 3 et 7cm pour 100m. Faute de données plus précises, une valeur moyenne de 2cm/100m/jour est admise.
- Ensuite, en majorant le cas échéant à dire d'expert les valeurs pour tenir compte de la contribution (positive ou négative) du transport de neige par le vent.
- Enfin, en tenant compte de la déclivité : jusqu'à 28° (valeur limite en-deçà de laquelle la stabilité du manteau est considérée comme

déclenchement do pour le calcul des avalanches coulantes, rapport interne n°668, IFENA, Davos 1992



acquise sauf exception), la conversion hauteur / épaisseur est triviale par application du Cosinus. Au-delà, la stabilité décroît avec une augmentation de la pente. Autrement dit, les accumulations mobilisables vont avoir de plus en plus de difficultés à se “construire” au cours de l’épisode de chute jusqu’à être considérées comme régulièrement purgées au-delà de 55°. La méthode évalue ainsi un facteur de pente selon les valeurs du tableau suivant qui est appliqué à l’épaisseur “stable” à 28°.

Au final, on obtient donc par périodes de retour, l’épaisseur  $d_0$  mobilisable en moyenne sur toute la surface potentielle de déclenchement (en notant qu’elle ne correspond pas en général à l’épaisseur moyenne mesurée le long de la ligne de rupture et qui peut être plus importante/spectaculaire).

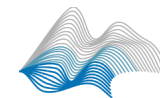
$\varphi$	28	30	32.5	35	37.5	40	45	50
$f(\varphi)$	1	0.9	0.79	0.71	0.65	0.6	0.52	0.46

Tableau 1: Valeur du facteur de pentes en fonction de la déclivité ( $\psi$  en degrés <sup>2</sup>)

Ainsi ici à partir des valeurs de la station Météo-France la plus représentative de Saint-Christophe en Oisans (réf : 38375001, altitude : 1570m, distante de 6km), on obtient finalement les épaisseurs mobilisables par périodes de retour correspondantes. Elles sont déclinées par zone de départ selon leurs caractéristiques (altitude et déclivité moyennes). Par exemple, le tableau ci-après fournit les valeurs suivantes pour 2000m et 35° :

		PERIODE DE RETOUR			
		10 ans	30 ans	100 ans	300 ans
Epaisseurs mobilisables	1 j	33 cm	38 cm	43 cm	54 cm
	2 j	47 cm	55 cm	63 cm	76 cm
	3 j	55 cm	64 cm	74 cm	90 cm

Tableau 2: Extrapolation à la zone du projet des épaisseurs de neige mobilisables à partir des données des stations Météo France les plus représentatives pour une altitude de 2000 m et des pentes à 35°



## 5. MODELISATIONS : OUTILS ET RESULTATS

### A. OUTIL DE MODELISATION – AVALANCHES DENSES COULANTES – RAMMS

La vérification des trajectoires et la “quantification” des phénomènes possibles nécessitent le recours à la modélisation : pour la catégorie la plus probable des avalanches denses coulantes, les scénarios listés précédemment sont évalués à l’aide du logiciel 2D de référence internationale RAMMS (v 1.8.0 - <http://ramms.slf.ch/ramms/>) de l’Institut Fédéral Suisse d’Etudes des Avalanches à Davos. Ce logiciel reste basé sur le modèle de Voellmy (1955) qui utilise une loi d’écoulement moyennée sur l’épaisseur : La masse de l’avalanche est entraînée par la gravité tout en subissant la résistance au sol d’un frottement combiné de type Coulomb  $\mu$  et visqueux  $\xi$  associé au carré de la vitesse d’écoulement.

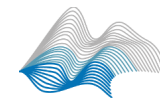
Les hypothèses suivantes sont utilisées :

- Jeu complet de paramètres correspondant à la période de retour du scénario considéré : l’ensemble des préconisations quant au choix des paramètres du SLF sont respectées sans ajustement ou modification
- Zones de départ définies de manière experte et exhaustive par combinaison de la pente (entre 30 et 55°, valeur au-delà de laquelle la neige se purge naturellement) et de la courbure (concavité).

- Chacune des zones ainsi définies est affectée d’une épaisseur mobilisable correspondant à son altitude et sa pente moyennes selon le même processus que celui ayant conduit au Tableau 2 précédent .
- Densité : 300 kg/m<sup>3</sup>. Cette densité est celle de l’écoulement qui ne correspond pas à celle du manteau neigeux dans la zone de départ.
- Résolution de la grille régulière représentant la topographie actuelle: 5m [2].

Un des paramètres prépondérants pour ces modélisations est le choix de la catégorie de volume qui va gouverner le comportement de l’avalanche. Ce volume doit s’entendre comme celui qui va “interagir avec lui-même” au sein des lignes d’écoulements et pour cela, Ramms permet le choix entre “tiny” (<5000m<sup>3</sup>=T), “small” (<25000m<sup>3</sup>=S), “medium” (<60000m<sup>3</sup>=M) et “large” (>60000m<sup>3</sup>=L).

A noter que le paramètre de cohésion disponible dans les dernières versions du logiciel est utilisé le cas échéant dans la gamme des neiges froides / sèches (valeur jusqu’à 100Pa) pour privilégier les trajectoires les plus importantes et rapides tout en permettant d’affiner les résultats.



## B. OUTIL DE MODELISATION – AVALANCHES AEROSOL – RAMMS ETENDU

L'avancement de la version étendue (désormais 2.7.94) de RAMMS<sup>2</sup> a donné l'opportunité de calculs complémentaires pour cette phénoménologie, au titre d'une utilisation de testeur en partenariat avec le SLF de Davos. Si cet outil fait encore l'objet de développements, avec donc l'attention correspondante quant aux interprétations et calages, il bénéficie d'un recul de plus en plus important sur de multiples cas et configurations pour pouvoir l'utiliser "pour ce qu'il perçoit du fonctionnement du site étudié".

Au-delà de la possible prise en compte et restitution des aérosols, cette version étendue (que nous nommerons RAMMS ::aérosol par commodité pour son usage ici mais qui couvre un spectre bien plus large) présente aussi des différences majeures avec la version traditionnelle de RAMMS présentée ci-avant: en particulier, il ne s'agit plus de gérer simplement le glissement d'un volume de neige sur un terrain en affectant l'interface d'un comportement frottant plus ou moins complexe.

En effet, à partir d'une zone de départ définie de manière analogue à précédemment, RAMMS :: aérosol intègre les équations de reprise de neige tout au long de la trajectoire gouvernée par la gravité mais donc aussi par l'interaction avec le manteau neigeux en place, l'évolution du volume et de la densité du core/cœur de l'écoulement et le cas échéant, la mise en suspension dans le nuage aérosol.

D'une part, le phénomène est alimenté au fur et à mesure de sa descente (sans donc avoir à définir des zones de départ additionnelles en cours de route pour "constituer" le volume représentatif total) mais d'autre part, nécessite d'introduire de nouveaux paramètres. Par exemple, la reprise ou la génération d'un aérosol sont très fortement dépendantes de la "qualité" de la neige qui dépend elle-même (notamment) de la température et de la teneur en eau. Il convient d'ajouter à cela un certain nombre de coefficients de "transfert" entre les différentes phases du phénomène.

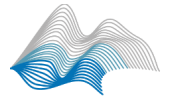
A ce stade, le paramétrage des calculs a encore progressé avec désormais la possibilité de choisir une période de retour, elle-même croisée avec le volume mobilisé au départ pour définir les valeurs maximums des coefficients  $\mu$ ,  $\xi$  et de la cohésion  $C$ .

Cette évolution simplifie la situation pour pouvoir désormais considérer un processus de référence basé sur la zone de départ (définie de manière analogue à celle de la version classique de RAMMS y compris donc son épaisseur mobilisable, ici par rapport à un cumul de 3 jours centennal selon les mêmes étapes que celles pour l'obtention du Tableau 2) et une couche érosive distribuée sur tout le domaine de calcul : à partir d'une valeur à une altitude donnée, le logiciel calcule sa distribution sur le domaine de calcul tenant compte du facteur de pente (Tableau 1) et d'un gradient nivométrique (entre 3 et 5cm/100m).

---

<sup>2</sup> Bartelt P, Buser O, Vera Valero O and Bühler Y (2016) Configurational energy and the formation of mixed flowing powder snow ice avalanches.

Ann. Glaciol., 57(71), 179–187.



Le dernier paramètre modifiable est la température représentative à la fois dans la zone de départ puis là aussi redistribuée automatiquement dans la couche érosive en fonction de l'altitude selon un gradient de température entre 0.3 et 0.5° par 100m. Pour les Alpes, le SLF a pu définir quelques grandes valeurs typiques : entre -4° vers 2000m jusqu'à -6° vers 2500m et -7° au-delà de 2600m.

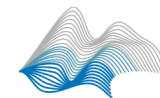
Les autres coefficients sont utilisés tels quels<sup>3</sup>, seul le cloud drag, d'une valeur standard de 4, peut permettre d'ajuster le calcul à une particularité du site (3 pour une falaise induisant une mise en suspension importante, 5 pour une petite avalanche avec un faible développement aérosol).

	Return Period			
Release Volume	10Y	30Y	100Y	300Y
< 5'000	A	A	AB	AB
5'000 - 50'000	A	AB	B	B
50'000 - 100'000	AB	B	B	C
> 100'000	B	B	C	D
Parameters	A	B	C	D
Mu ( )	0.55	0.42	0.38	0.32
Xi (m/s <sup>2</sup> )	1800	1900	1900	2000
Cohesion (Pa)	200	100	75	50

Figure 15 – matrice de choix du jeu de paramètres en fonction de la période de retour et du volume

<sup>3</sup> P. Bartelt, L. Stoffel, RAMMS Extended input parameters, Draft version 7

juillet 2021



## C. RESULTATS

Le résultat ci-dessous concerne les avalanches denses coulantes potentielles selon une période de retour centennale et issues des pentes propices des parties amont des versant. Le calcul est volontairement conservatif (mobilisation simultanée de toutes les zones de départs possibles) et pourtant confirme une non atteinte du refuge, avec des tendances parfaitement cohérentes avec l'analyse topographique :

- En rive gauche, la cuvette du lac arrête ou détourne les éventuelles avalanches de part et d'autre du Plan de la Lavey.
- En rive droite les phénomènes sont effectivement orientés naturellement pour ne pas viser le refuge jusqu'à quand même pouvoir occuper le replat rive gauche. Au droit du refuge, il ne reste que des bordures d'écoulement qui sont parfaitement captées par le thalweg du ruisseau.

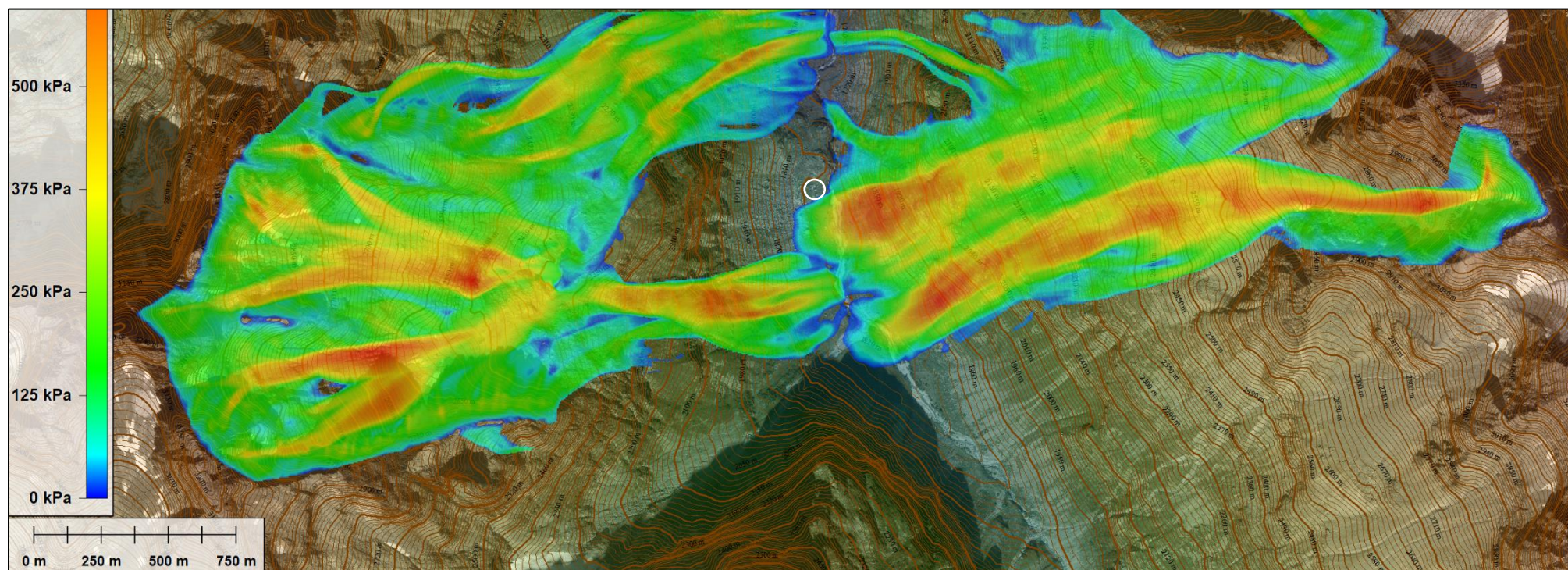
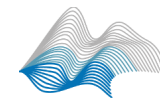


Figure 16 – Résultat des avalanches denses coulantes avec RAMMS en conditions centennales avec déclenchement intégral des parties sommitales (catégorie de volume=Medium, cohésion=50Pa) – échelle de couleur=pression max



Les conditions centennales ont également été étudiées pour un départ avec aérosol depuis le sommet des versants et montrent quelques tendances complémentaires (Figure 17):

- En rive gauche, avec cette phénoménologie (bien) plus vélocité, la cuvette et le replat du lac des Bêches pourraient être franchis selon une trajectoire rectiligne mais là aussi décalée par rapport au refuge : le cœur du phénomène ne le touche pas et seul le nuage pourrait l'englober mais avec des niveaux de pression non préjudiciables qui s'apparentent aux hypothèses habituelles de vent.
- En rive droite et en l'absence d'une particularité topographique particulière, les trajectoires sont très proches du calcul dense coulant. Finalement et vu son débordement latéral naturel, seul le nuage pourrait là aussi toucher le refuge avec des niveaux de pression à peine plus élevés.

A ce stade, il faut aussi relativiser ces résultats dont les manifestations n'ont jamais été constatées et encore moins avec une telle ampleur: comme indiqué, le calcul cumule ici (et volontairement) des paramètres plutôt conservatifs. Or, même avec cela, le refuge n'est aucunement concerné par les dépôts ou les phases les plus préjudiciables : ceci est principalement dû à l'effet de la cuvette du Lac des Bêches, de l'orientation générale du bas du versant rive droite y compris le thalweg du ruisseau qui joue l'effet d'une digue et zone de dépôt pour des phénomènes qui sont en plus à la marge et sur un terrain numérique très lissé. D'ailleurs, même en poussant le calcul dense coulant au tri-centennal (Figure 18), la topographie continue de générer les mêmes tendances sans dérive particulière vis-à-vis du refuge, même malgré un "arrosage" élargi au-delà de la cuvette du Lac.

**Ces premiers résultats, même poussés, à l'échelle globale des 2 versants dominant permettent donc d'avancer avec certitude que le refuge n'est aucunement menacé par une potentielle phase préjudiciable (dense coulante ou cœur d'aérosol). Au pire, seul un effet de souffle pourrait**

**être ressenti mais sans commune mesure en termes de prescriptions architecturales (Cf. conclusions)**

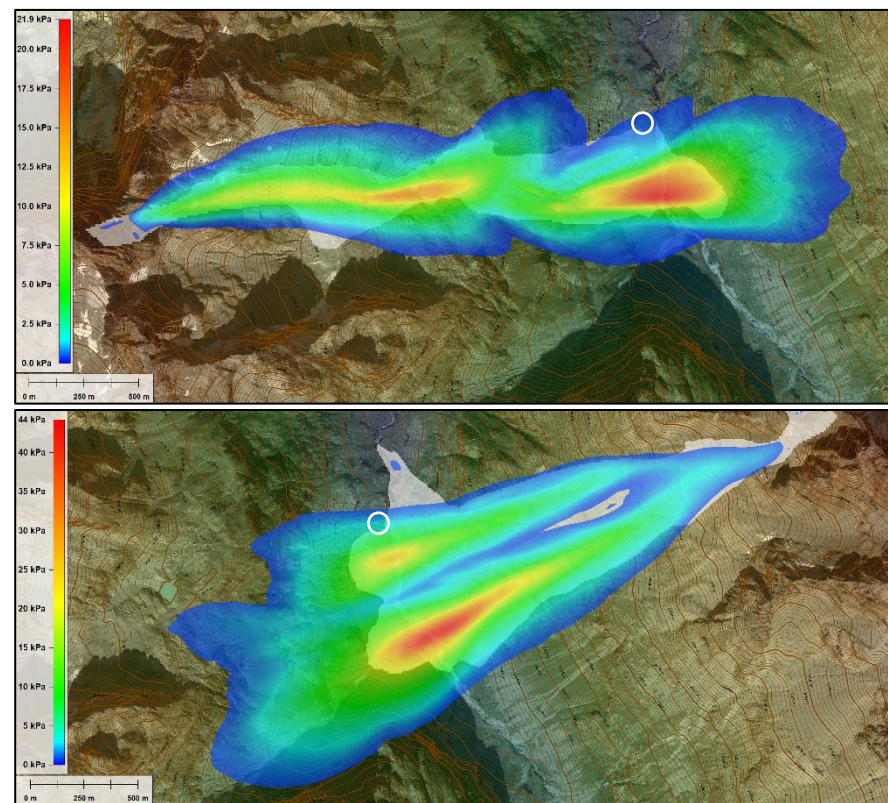


Figure 17 –Résultat des avalanches aérosol avec RAMMS étendu en conditions centennales avec départ depuis le sommet (zone blanchie = cœur du phénomène, échelle de couleur = pression max du nuage) : en haut en rive gauche, en bas en rive droite



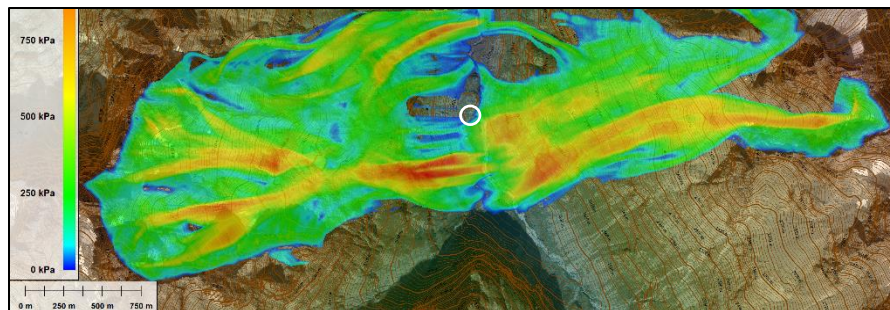
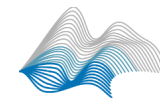


Figure 18 – Calcul identique à celui de la Figure 16 poussé à l'occurrence tri-centennale (catégorie de volume Large, cohésion=50Pa)

Finalement et comme pressenti dans l'analyse du site, la seule problématique directe concerne bien les pentes immédiates à l'ouest du refuge, partant sous le rebord de la cuvette du Lac des Bêches. Or, ici l'ampleur du site est beaucoup plus réduite, par exemple insuffisante pour développer un vrai aérosol (tout au plus le début d'une couche de saltation en neige très froide). De même, l'uniformité transversale du versant (Figure 12 avec peu d'effet de concavité/convexité) a tendance à induire une suite de lignes possibles d'écoulement parallèles entre elles, réduisant drastiquement la catégorie de volume numérique à prendre en compte (donc Tiny).

La Figure 19 ci-contre montre le résultat obtenu restitué sous la forme de l'intensité avalancheuse, elle-même obtenue en multipliant les cartes de pression et hauteur max (donc en kN/ml) pour obtenir une grandeur homogène avec une force par unité de largeur de l'objet potentiellement impacté et donc représentative de la sollicitation subie. Ce résultat cumule le déclenchement des pentes au-dessus de la barre rocheuse et qui vient lui-même déclencher et se cumuler avec les pentes inférieures.

Or même selon ces hypothèses, la façade ouest du refuge est juste approchée. Surtout, il faut bien noter que la couverture RGEalti est ici

totalemment lissée et n'intègre pas la topographie des gros blocs. **Dans la réalité, l'extension longitudinale de l'avalanche serait encore réduite par ce dédale de blocs pour s'arrêter naturellement quelques dizaines de mètres à l'amont du refuge.** Ceci explique d'ailleurs qu'aucun cas d'endommagement n'ai jamais été constaté sur le refuge malgré l'observation de dépôts de coulées dans ces pentes intermédiaires.

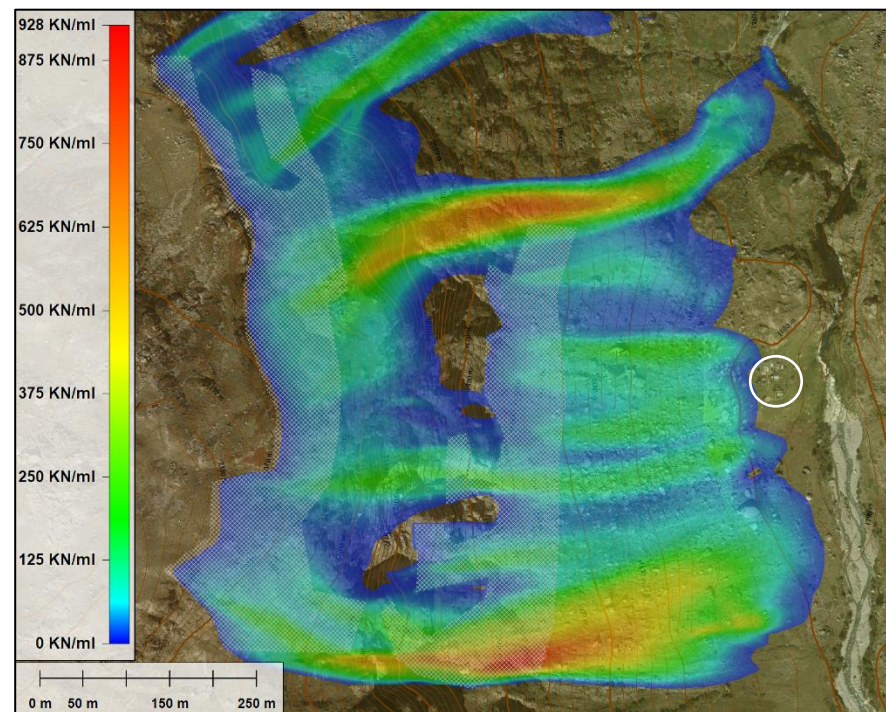
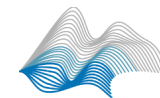


Figure 19 – Résultat des avalanches denses coulantes avec RAMMS en conditions centennales issues des pentes aval sous le rebord de la cuvette du Lac des Bêches directement au-dessus du refuge (catégorie de volume=tiny, cohésion=100Pa) – échelle de couleur=intensité max – pentes mobilisées hachurées



## 6. CONCLUSIONS

Finalement en cohérence avec l'occupation du hameau de la Lavey depuis vraisemblablement bien plus d'un siècle<sup>4</sup> et qui aurait dû sinon laisser des traces de témoignages en cas d'événements historiques, les analyses et résultats précédents confirment que le refuge de la Lavey n'est pas directement menacé de manière préjudiciable par les avalanches selon les critères de la doctrine PPRN [5] :

- Protégé par l'orientation générale du versant et le thalweg du ruisseau en rive droite et par l'effet de la cuvette du Lac des Bêches en rive gauche, le refuge échappe aux phases denses coulantes et aux cœurs d'aérosol des plus gros phénomènes qui seraient potentiellement issus des zones sommitales.
- A une échelle plus proche et si les pentes directement dominantes peuvent effectivement générer des coulées s'approchant du site par l'ouest, le refuge reste bien protégé par l'importante "rugosité" induite par la présence de tous les gros blocs en pied de pentes.

Sur ce dernier point, il convient d'ailleurs de citer les études en cours pour la problématique de chutes de blocs : [4] conclut avec la préconisation d'un

ensemble merlon-fosse qui aurait encore un effet bénéfique supplémentaire (même si non nécessaire du point de vue des avalanches).

Finalement, la seule problématique résiduelle est celle d'un possible souffle lié à un aérosol à proximité : l'effet est de l'ordre des hypothèses de vent à l'ouest et à peine plus marqué pour les façades orientées à l'est, de l'ordre de  $\pm 3\text{kPa}$  (à considérer comme une charge accidentelle au sens des Eurocodes et ramené à  $\pm 1\text{kPa}$ , y compris en dépression pour les autres orientations y compris la toiture). Cette gamme de valeur n'est pas directement préjudiciable pour les structures porteuses et la toiture et concerne surtout les ouvertures.

**Le maître mot est donc ici de simplement adopter des pratiques de bonne construction en (haute) montagne/vis-à-vis du vent et (au moins) pour les ouvertures les plus exposées, de les équiper en volets renforcés fermés pendant tout l'hiver... ce qui est une pratique habituelle pour un refuge non gardé. Dans tous les cas, le projet n'est pas remis en cause ou modifié du fait des avalanches.**

<sup>4</sup> Comme d'autres hameaux de Saint-Christophe en Oisans, les ruines visibles sur site témoignent non pas des conséquences de phénomènes naturels mais d'un abandon progressif du hameau du fait de très fortes vagues d'émigration notamment lors de la première moitié du XX<sup>ème</sup> siècle (près de 60% de réduction de la population selon *Annie Illaire, La vie dans une*

*cellule de haute-montagne : Saint-Christophe en Oisans, Revue de Géographie Alpine, 1953*). La partie historique du refuge a d'ailleurs été rachetée en 1949 alors que l'occupation du hameau était déjà très fortement réduite, après un âge d'or dont témoignent encore les ponts en pierres rencontrés le long du sentier d'accès (le premier datant du XVII<sup>ème</sup> siècle).

# ANNEXE 6 : Calcul des émissions de GES du projet

## 1.1. PHASE TRAVAUX

### ÉMISSIONS LIEES A LA DECONSTRUCTION DES PARTIES DU REFUGE NON CONSERVEES

La déconstruction de bâtiment suppose l'utilisation d'engins de chantier voire d'hélicoptère et donc l'émission de GES.

#### ÉMISSIONS LIEES A L'UTILISATION DE L'HELICOPTERE

Les hélicoptères sont généralement alimentés au carburant de type JetA1 dont le facteur d'émission est de  $3 \text{ kgCO}_2/\text{l}_{\text{JetA1}}$ <sup>1</sup>. La consommation de JetA1 dépend du type d'hélicoptère utilisé :

- > Hélicoptère type Super-Puma : entre 500 et 800 l/h<sup>2</sup> ;
- > Hélicoptère type B3 : 180 l/h<sup>3</sup>.

En considérant les informations ci-dessus et le nombre d'heures d'utilisation de l'hélicoptère, le calcul d'émissions de GES est le suivant.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ Super-Puma (kgCO}_2\text{e)} = 800 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{JetA1}})$$

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ B3 (kgCO}_2\text{e)} = 180 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{JetA1}})$$

#### ÉMISSIONS LIEES A L'UTILISATION DES ENGINES DE CHANTIER

Le calcul des émissions de GES des engins de chantier nécessite de connaître le nombre d'heures d'utilisation ainsi que la consommation de carburant de chaque engin. En considérant un facteur d'émission (FE) des engins de chantier au Gazole Non Routier (GNR) de  $3,17 \text{ kgCO}_2/\text{l}_{\text{GNR}}$ <sup>4</sup>, une consommation de carburant d'environ 10 l/h pour un camion-grue, d'environ 4 l/h<sup>5</sup> pour un chariot élévateur et d'environ 15 l/h pour une pelle mécanique/araignée, le calcul est le suivant :

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = 4 \text{ ou } 10 \text{ ou } 15 \text{ (l/h)} * \text{nb heures d'utilisation (h)} * 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{GNR}})$$

### ÉMISSIONS LIEES AUX TRAVAUX DE TERRASSEMENT

Les terrassements liés aux travaux sont la plupart du temps très conséquents et émetteurs de GES. Les émissions sont proportionnelles au nombre d'hectares terrassés.

Le calcul des émissions provenant des terrassements nécessite l'estimation de la quantité de carburant consommé par les engins pour la durée des travaux ou la quantité de matériaux déplacés. En considérant un facteur d'émission des engins de chantier au GNR de  $3,17 \text{ kgCO}_2/\text{l}_{\text{GNR}}$ <sup>6</sup> et une consommation de carburant de  $0,86 \text{ l}_{\text{GNR}}/\text{m}^3$ <sup>7</sup> de matériaux transporté, le calcul des émissions est le suivant.

<sup>1</sup> Base Carbone ADEME, 2022.

<sup>2</sup> Faqfra.online.fr ; site d'amateurs et professionnels de l'aviation.

<sup>3</sup> Swisshelicopter.ch

<sup>4</sup> Base Carbone ADEME, 2022.

<sup>5</sup> Manutrucs.fr

<sup>6</sup> Base Carbone ADEME, 2022.

<sup>7</sup> Estimation de consommation de carburant sur les chantiers de la Fée et du Chalvet.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité de carburant (l)} * 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{GNR}})$$

Ou

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité de matériaux déplacés (m}^3\text{)} * 0,86 \text{ (l}_{\text{GNR}}\text{/m}^3\text{)} * 3,17 \text{ (kgCO}_2\text{/l}_{\text{GNR}})$$

### **ÉMISSIONS LIEES AUX TRAVAUX DE REHABILITATION ET D'EXTENSION DU REFUGE ET TRANSPORT DES MATERIAUX DE LA DROP ZONE EN FOND DE VALLEE A LA ZONE DE CHANTIER**

Les travaux de réhabilitation et d'extension du refuge nécessitent les mêmes types d'engins que pour la déconstruction des parties non conservées.

Les calculs d'émission sont décrits dans cette même partie.

### **ÉMISSIONS LIEES AU TRANSPORT DES MATERIAUX VERS LA DROP ZONE**

Les matériaux et engins nécessaires aux travaux doivent être acheminés jusqu'au lieu du chantier. Le transport de tous ces éléments est émetteur de GES notamment lorsque le transport a lieu par camion.

L'acheminement des engins et matériaux sur le chantier nécessite l'utilisation de camion de transport. En utilisant le nombre de kilomètres parcouru par le(s) camion(s) et un facteur d'émission de 1,31 kgCO<sub>2</sub>/camion/km<sup>8</sup> :

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{distance parcourue (km)} * \text{nb de camions} * 1,31 \text{ (kgCO}_2\text{/km/camion)}$$

### **ÉMISSIONS LIEES A LA PRODUCTION DES MATERIAUX NECESSAIRES A LA REALISATION DU PROJET**

La production des matériaux nécessaires à la réalisation des travaux est une partie importante des émissions de GES du projet en phase travaux.

#### EMISSIONS LIEES A LA PRODUCTION DE L'ACIER

Le calcul des émissions de GES de la production de l'acier nécessite de connaître le poids d'acier utilisé pour le projet. En considérant un facteur d'émission (FE) de la production d'acier neuf de 2210 kgCO<sub>2</sub>e/tonne ou d'acier recyclé de 938 kgCO<sub>2</sub>e/tonne, le calcul est le suivant.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité d'acier (tonne)} * 2210 \text{ ou } 938 \text{ (kgCO}_2\text{/tonne)}$$

#### EMISSIONS LIEES A LA PRODUCTION DU BETON

Le calcul des émissions de GES du béton nécessite de connaître le poids de béton utilisé pour le projet. En considérant un facteur d'émission (FE) du béton armé de 155 kgCO<sub>2</sub>e/tonne ou de béton type C25/30CEM II de 88 kgCO<sub>2</sub>e/tonne, le calcul est le suivant.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité de béton (tonne)} * 155 \text{ ou } 88 \text{ (kgCO}_2\text{/tonne)}$$

#### EMISSIONS LIEES A LA PRODUCTION DU BOIS D'OEUVRE

Le calcul des émissions de GES du bois nécessite de connaître le poids de bois d'œuvre utilisé pour le projet. En considérant un facteur d'émission (FE) du bois de 0,42 kgCO<sub>2</sub>e/kg, le calcul est le suivant.

<sup>8</sup> Base Carbone ADEME, 2022.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{quantité de bois (kg)} * 0,42 \text{ (kgCO}_2\text{/kg)}$$

## 1.2. PHASE EXPLOITATION

### ÉMISSIONS LIEES A LA CONSOMMATION ELECTRIQUE DU REFUGE FUTUR

L'énergie électrique sera la seule source d'énergie du refuge après réalisation des travaux. Cette énergie émet du CO<sub>2</sub>e en fonction du temps d'utilisation annuel et de la provenance de l'électricité.

Pour le refuge de la Lavey l'énergie électrique proviendra de panneaux photovoltaïques disposés sur le toit du refuge. Bien que considérée comme énergie renouvelable, l'électricité photovoltaïque émet tout de même du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Le facteur d'émission à prendre en compte dans les calculs est celui de 44 g<sub>CO<sub>2</sub>e</sub>/kWh produit<sup>9</sup>.

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (gCO}_2\text{e)} = \text{consommation d'électricité (kWh)} * 44 \text{ (gCO}_2\text{/kWh)}$$

### ÉMISSIONS LIEES A LA CONSOMMATION DE CARBURANT ET DE GAZ POUR LE REFUGE ACTUEL

Le refuge actuel fonctionne avec du fioul pour le chauffage et du gaz pour la cuisine. Ces deux sources d'énergie fossile sont émettrices de GES.

En considérant, le nombre de litres de fioul et le poids de gaz utilisés ainsi que les facteurs d'émissions associés, à savoir 3,24 kg<sub>CO<sub>2</sub>e</sub>/litre de fioul et 3,43 kg<sub>CO<sub>2</sub>e</sub>/kg de gaz, le calcul est le suivant :

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{consommation de fioul (l)} * 3,24 \text{ (kgCO}_2\text{/l)}$$

$$\text{Emissions de CO}_2 \text{ (kgCO}_2\text{e)} = \text{consommation de gaz (kg)} * 3,43 \text{ (kgCO}_2\text{/l)}$$

### ÉMISSIONS LIEES AUX LIVRAISONS DES VIVRES AU REFUGE

Les livraisons de vivres au refuge se font par hélicoptère et sont mutualisées avec les autres refuges de la vallée.

Le calcul d'émission du transport par hélicoptère est décrit plus haut.

---

<sup>9</sup> Base Carbone ADEME, 2022.