



PROJET DE FIN D'ETUDES

SOUTENU PAR

JAMES BRAY

ALEXIS GARIN



**HABITER LA HAUTE MONTAGNE :**  
**CONCEPTION DE DEUX REFUGES SUR DEUX DES**  
**VOIES D'ASCENSION DU MONT BLANC**



PARIS, JUILLET 2019

*ÉCOLES*

ENSA PARIS LA VILLETTE & ESTP PARIS

*PROJET PFE*

PROJETS, PROSPECTIVES ET VILLES EUROPEENNES

*ENSEIGNANTS*

ERIC LOCICERO - NAZILA HANACHI -BELKADI - SERGE WACHTER

## RESUME

Le Mont-Blanc est un site protégé et à forte attraction touristique. Mais, les équipements présents pour accueillir les alpinistes, qui viennent en grand nombre et de différents continents, sont face à une problématique de sous dimensionnement.

Le contexte des interventions est celui de la haute montagne en site protégé. Les refuges du Mont Blanc n'ont pas de routes d'accès pour les véhicules et ne sont desservis ni par les réseaux d'eau ni par l'électricité. Le site pousse donc à l'autonomie des constructions.

Le projet consiste à la conception de deux refuges, dimensionnés à la demande, actuel le long de deux des voies de l'ascension au Mont-Blanc. Ces refuges devront également comporter les équipements complémentaires en lien avec l'altitude de l'ouvrage. Il devra s'intégrer au paysage, être autonome, utiliser des matériaux locaux tout en résistant aux conditions de haute montagne. La phase chantier sera réfléchi en prenant en considération les difficultés d'approvisionnement.

## SUMMARY

The Mont-Blanc is a protected area which is also a major tourist attraction. However, the current structures on the mountain are undersized for the mountaineers, who come in numbers from several continents.

The interventions will happen in a protected area in high altitude. Mont-Blanc's refuges are roadless and are not connected to any water nor electrical system. Thus, these conditions lead us to find an autonomous solution for our refuges.

Our project consists in building two refuges, sized to the present demand on their respective track leading to the summit of Mont-Blanc. The buildings will also be dotted with even more specialized equipment than usual at these altitudes. The projects will also blend in to the scenery of the mountain, be autonomous, use materials found on site and resist the harsh meteorological conditions. When planning the construction phase the problems of the challenging access will be thought through.



# TABLE DES MATIERES

<b>RESUME</b>	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>CHAPITRE 1 UN SITE NATUREL REMARQUABLE</b>	<b>7</b>
<b>I. RESSOURCES LOCALES EN HAUTE SAVOIE</b>	<b>8</b>
1. LE BOIS : UN MATERIAU LOCAL ET BIOSOURCE	9
2. LA PIERRE : UN MATERIAU PRESENT EN ABONDANCE	14
3. LE TOURISME, UNE RESSOURCE ECONOMIQUE ESSENTIELLE DANS LA REGION	15
<b>II. LA NATURE DU MONT-BLANC</b>	<b>16</b>
1. DIFFERENTS BIOTOPES A DIFFERENTES ALTITUDES	16
2. GLACIERS ET ENNEIGEMENT DU MONT-BLANC	18
3. CLIMAT : LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES DU MONT-BLANC	20
4. GEOLOGIE	22
<b>III. OCCUPATION DU MONT-BLANC</b>	<b>23</b>
1. LA VOIE DU GOUTER	24
2. LA VOIE DES TROIS MONTS	25
3. LA VOIE DES GRANDS MULETS	26
4. LA VOIE ROYALE	27
<b>CHAPITRE 2 REFERENCES ARCHITECTURALES</b>	<b>29</b>
<b>I. CASA TOLO, ALVARO SIZA</b>	<b>30</b>
<b>II. MONASTERE DE RONCHAMP, RENZO PIANO</b>	<b>33</b>
<b>III. REFUGE DU GOUTER, GROUPE H</b>	<b>37</b>
<b>CHAPITRE 3 CONCEPTION DES PROJETS ARCHITECTURAUX</b>	<b>46</b>
<b>I. FONCTIONS SUPPLEMENTAIRES ENVISEAGEABLES</b>	<b>47</b>
<b>II. REFUGE DES GRANDS MULETS</b>	<b>50</b>
1. PRESENTATION DES ENJEUX	50
2. PROGRAMME DU PROJET	53
3. CONCEPT DU PROJET	54
4. ASPECTS ENERGETIQUES ET D'AUTONOMIE	55
<b>III. REFUGE DE PLAN GLACIER</b>	<b>60</b>
1. PRESENTATION DES ENJEUX	60
2. PROGRAMME DU PROJET	66
3. CONCEPT DU PROJET	67
4. CONSTRUCTIBILITE	69
5. ASPECTS ENERGETIQUES ET D'AUTONOMIE	71

## INTRODUCTION

Le Mont-Blanc, sommet de l'Europe occidentale, est un écrin d'espaces sauvages et naturels. Alors, de nombreuses randonnées, excursions ou autres activités ont vu le jour sur le massif du Mont-Blanc, ce qui attire beaucoup de personnes. Que ce soit des randonneurs souhaitant se ressourcer dans un espace naturel ou que ce soit des alpinistes souhaitant dépasser leurs limites, le nombre d'individus venant au Mont-Blanc est croissant. Seulement, il est important de préserver la qualité des espaces. Or, le faible nombre d'infrastructures ajouté à cette forte attractivité peut pousser certains individus à poser leur bivouac de manière sauvage. De ce fait, il est impossible de contrôler et surveiller le comportement de ces individus, et par le passé, de nombreux cas de pollution issus de cette pratique ont été notés. La réalisation de refuges a permis de contrôler les accès à la montagne, les déchets et le comportement des alpinistes. Le refuge est également un lieu de sécurité indispensable sur les flancs d'une montagne où la météo peut changer de façon très rapide et brutale.

Ne souhaitant pas nuire à l'aspect naturel de ce site exceptionnel, nous ne souhaitons pas ajouter un refuge à ceux déjà existants. Ainsi, notre méthode de travail a été de diagnostiquer les différents refuges déjà présents sur l'une des quatre voies d'ascension au Mont-Blanc, puis de repérer ceux qui nécessitent des transformations. Les raisons peuvent être à la fois un problème de sous dimensionnement mais aussi et surtout un problème d'insertion écologique dans le milieu environnant. En effet, beaucoup de refuges n'ont aucun système de traitement ou d'autonomie en eau. Le chauffage et/ou l'électricité est en général produit par des énergies fossiles acheminées par hélicoptère. Une fois cette analyse établie, nous avons chacun travaillé sur la conception d'un refuge. Nous avons pour objectif de créer des refuges plus efficaces énergétiquement mais aussi autonomes en énergie et en eau. Leur architecture devra s'intégrer au paysage environnant. Nous prévoyons également d'appliquer des programmes complémentaires à celui de refuge tel qu'un site d'expérimentation scientifique et de production de végétaux en haute altitude.

Ce livret représente le travail de notre semestre. Il se compose d'une partie d'analyse du site. Ce lieu atypique n'implique pas les mêmes contraintes architecturales que celles prise en compte usuellement. Comprendre le site et les enjeux ont été un travail primordial. Puis, nous avons étudié une bibliographie traitant de l'implantation de bâtiment dans des sites pentus et dans un climat de haute montagne. Enfin, nous présenterons les concepts architecturaux et les solutions que chacun d'entre nous a développées.



# CHAPITRE 1

UN SITE NATUREL REMARQUABLE



La Haute-Savoie fait partie de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Elle est limitrophe des départements de l'Ain et de la Savoie, ainsi que des cantons de Genève, de Vaud et du Valais en Suisse et de la vallée d'Aoste en Italie. Une partie de la frontière avec la Suisse est matérialisée par le lac Léman.

Sur son territoire est située une partie du massif du Mont-Blanc, d'une superficie de 580 km<sup>2</sup> environ. L'altitude moyenne du département est de 1 160 m, et sa superficie de 4 388 km<sup>2</sup>. Le Mont-Blanc s'élève au cœur du massif du même nom et constitue le point culminant de la chaîne montagneuse des Alpes. Il s'agit également du plus haut sommet d'Europe occidentale. Il se situe sur la frontière entre la France et l'Italie, au sud de la ville de Chamonix.

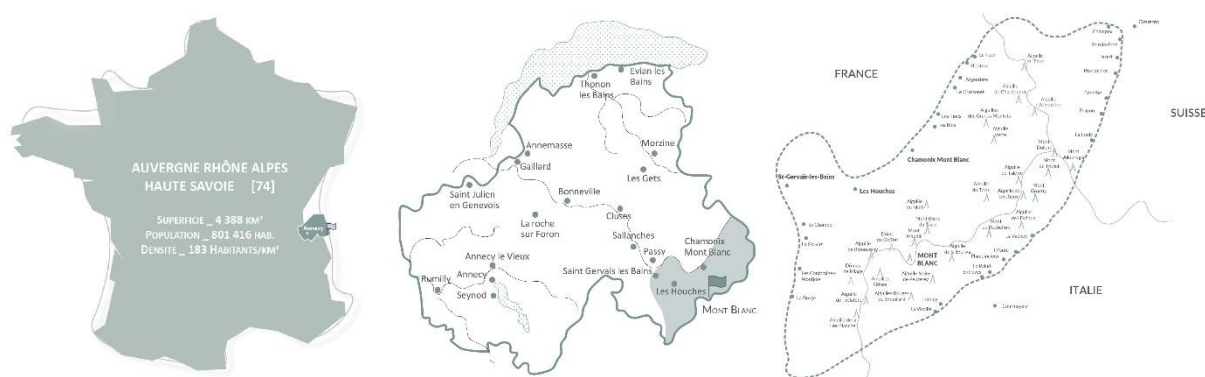


Figure 1 : Situation de la Haute Savoie et du massif du Mont-Blanc, un site partagé entre trois pays.

Nous avons commencé par l'élaboration d'une analyse précise du site. Il a été important de comprendre les ressources locales en Haute Savoie pouvant être utiles à la construction responsable et l'importance des refuges. Puis, nous avons étudié la géologie et le climat du site. D'un fort potentiel, ce lieu a toutefois de nombreuses contraintes météorologiques qu'il a fallu prendre en compte dès le début de la conception des refuges. Enfin, nous avons pu apprécier les différentes voies d'ascension au Mont-Blanc et déterminer le nombre et la qualité des refuges aujourd'hui existants.

## I. RESSOURCES LOCALES EN HAUTE SAVOIE

Aux altitudes auxquelles se trouvent les refuges du Mont-Blanc, très peu de matériaux sont présents. Il va donc être question d'apporter des matériaux jusqu'au chantier. Afin de réduire l'empreinte carbone du projet, nous ferons venir les matériaux le plus possible d'une aire géographique la plus proche possible. C'est ce que l'on a démontré en étudiant le matériau bois et pierre. De plus, nous avons pu analyser les ressources économiques que représente le tourisme de montagne. Plus particulièrement en Haute Savoie, nous avons pu comparer les statistiques justifiant d'avantage le travail du projet de reconstruction de deux refuges.



## 1. Le bois : un matériau local et biosourcé

Le bois est un matériau naturel qui est présent en abondance et avec une grande diversité dans la région Haute Savoie. Utiliser ce matériau pour la construction du refuge permettrait de limiter l'impact du bilan carbone. De plus, ce matériau permettrait de préfabriquer en usine la structure des refuges. Ceci permet de limiter la perte des matériaux sur le chantier et de travailler en amont du chantier dans des conditions normales. Autrement dit, une structure bois permet à la fois de travailler dans les ateliers en plaine et de limiter les manutentions sur le chantier en haute montagne.

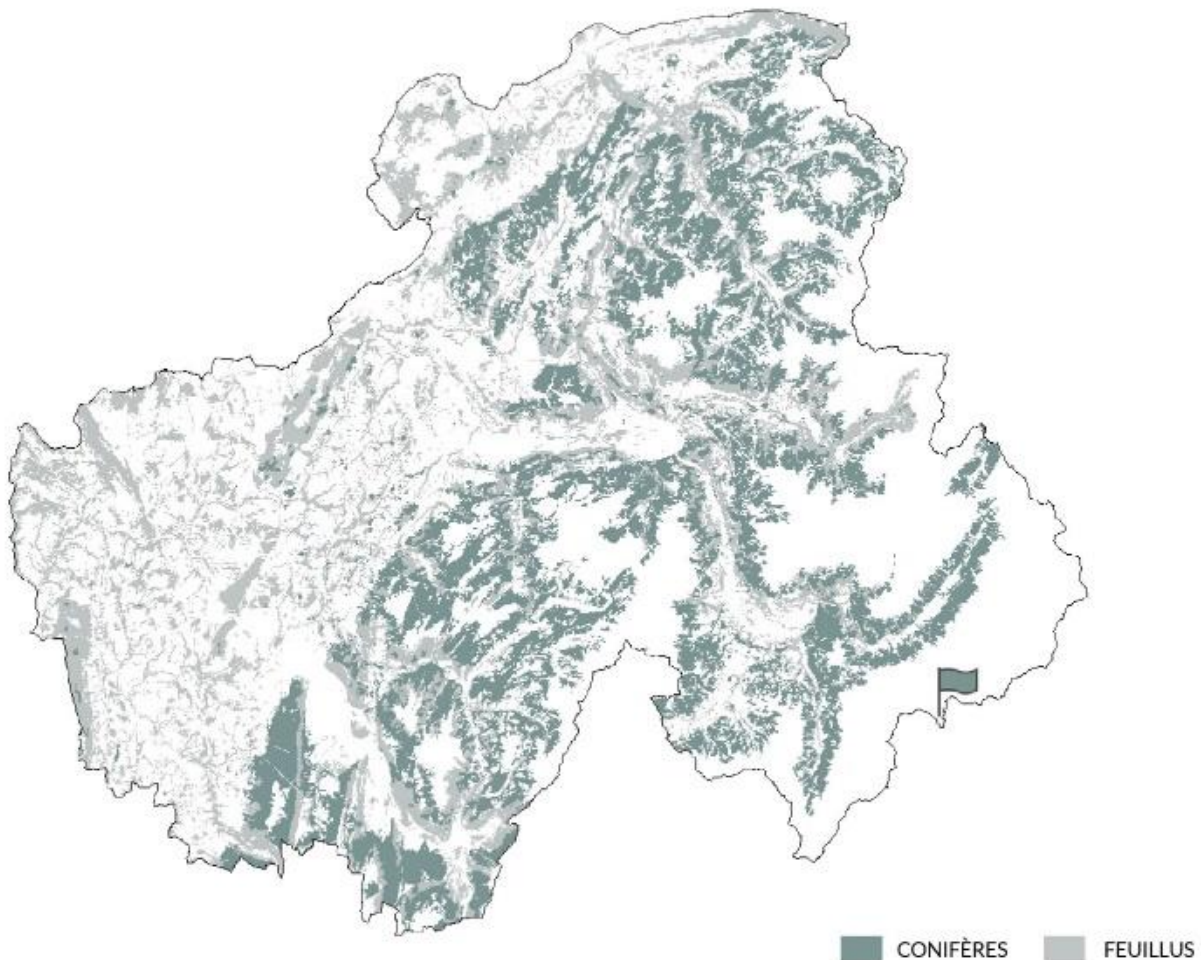
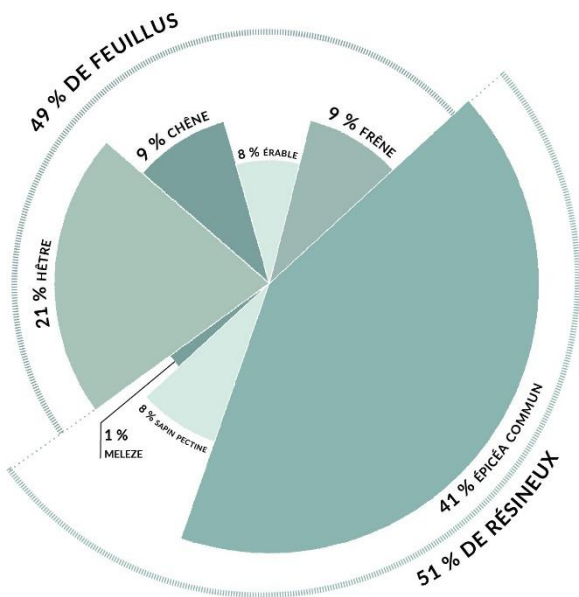


Figure 2 : Répartition de la forêt, conifères et feuillus, dans le département Haute Savoie



Figure 3 : Implantation des scieries dans le département Haute Savoie



Essence	Total Mm <sup>3</sup>
Chêne rouvre	1 ± 1
Chêne pubescent	n.s.
Hêtre	8 ± 2
Châtaignier	n.s.
Grand érable	1 ± 1
Frêne	3 ± 1
Autres feuillus	4 ± 1
<b>Tous feuillus</b>	<b>18 ± 4</b>
Pin sylvestre	n.s.
Sapin pectiné	7 ± 3
Épicéa commun	21 ± 5
Douglas	n.s.
Autres conifères	n.s.
<b>Tous conifères</b>	<b>29 ± 6</b>
<b>Haute-Savoie</b>	<b>47 ± 6</b>

Figure 4 : Volume de bois sur pieds par essence dans le département Haute Savoie

	Forêt	Taux de boisement	Non forêt	Occulté	Total
Classe d'altitude	1 000 ha	%	1 000 ha	1 000 ha	1 000 ha
200 à 400 m	n.s.	n.s.	n.s.	-	n.s.
400 à 600 m	26 ± 7	23	86 ± 8	-	112 ± 11
600 à 800 m	24 ± 7	36	42 ± 6	-	66 ± 9
800 à 1000 m	31 ± 7	48	33 ± 7	-	63 ± 10
1000 à 1200 m	36 ± 8	74	13 ± 3	-	49 ± 9
1200 à 1600 m	51 ± 9	68	24 ± 6	-	75 ± 11
1600 à 2000 m	n.s.	n.s.	30 ± 5	-	40 ± 7
+ de 2000 m	-	-	42 ± 5	-	42 ± 5
<b>Haute-Savoie</b>	<b>180 ± 10</b>	<b>39</b>	<b>281 ± 10</b>	<b>-</b>	<b>461</b>

Figure 5 : Surface d'occupation de la forêt en fonction de la classe d'altitude

Ces différentes essences d'arbres possèdent des propriétés intrinsèques. L'étude de ces propriétés va nous permettre de choisir au mieux l'essence d'arbres que nous utiliserons en fonction de son utilité dans le refuge. La description suivante de ces essences permet d'étudier leurs caractéristiques respectives.

### ABIES ALBA, SAPIN BLANC, PERSISTANT

C'est un grand arbre à tronc non ramifié et branches légères et fragiles, se cassant rapidement au profit d'un tronc nu, à bois tendre de haute qualité. Il atteint 50m de haut, avec un tronc d'environ de 2m de diamètre. L'écorce, lisse, est gris argenté, à légères fissures chez les vieux pieds. Les aiguilles persistantes (jusqu'à 3 cm de long), déployées vers l'arrière, sont souples, vert foncé luisant, à pointe émoussée.



### PICEA ABIES, EPICEA COMMUN, PERSISTANT

Cette espèce produit un des bois tendre et à pâte les plus utilisés en Europe. Le port est de forme très variable, grand et mince à large et déployé, des pieds de 50 m de haut sont attestés. En forêt, l'espèce tolère les zones ombragées et survit des années en plantation dense. La cime devient relativement petite et les branches basales s'assombrissent.



### FAGUS SYLVATICA, HETRE COMMUN, CADUC

C'est une espèce forestière caduque supportant les emplacements ombragés et les plantations rapprochées, et procurant une ombre dense en été. Le trait le plus typique de cet arbre est peut-être sa fine écorce lisse et gris argenté, sur un tronc droit supportant une large tête de branches. Des arbres de 35 m de haut sont fréquents. Un spécimen de 46 m de haut, et un autre, à tronc de 231 cm de diamètre, sont attestés. Bien que peu résistant, le bois de hêtre a divers usages domestiques, notamment pour la confection de meubles.



### FRAXINUS EXCELSIOR, FRENE ELEVE, CADUC

Le frêne élevé, ou frêne commun, est un grand arbre de 30 m de haut. Par le passé, le frêne élevé était l'essence européenne la plus prisée, mais la qualité des grumes dépend du type de sol dans lequel l'arbre a poussé. La qualité maximale du bois est atteinte lorsque l'arbre a entre 50 et 70 ans. Il est alors blanc, résistant et flexible, mais il est putrescible et ne doit pas être mis en contact avec le sol. Il sert à produire des panneaux lamellés pour l'ameublement de bureaux.



### LARIX DECIDUA, MELEZE D'EUROPE, CADUC

L'aire originelle de cette espèce s'étend sur la majorité de l'Europe, notamment dans les Alpes européennes et les Carpates. Le port est plus ou moins droit, jusqu'à 45 m de haut, à cime conique et branches fines horizontales ou descendantes. Les rameaux sont plus fortement pendants chez les vieux pieds. Le tronc est ainsi d'aspect régulier, mais à nœuds tombant après séchage. Cette espèce, seul conifère caduc natif d'Europe, a des aiguilles fines souples et vert intense, visible tôt au printemps (avec le début de la floraison), pratiquement avant la fin de l'hiver en climat doux.



### ACER PSEUDOPLATANUS, ERABLE SYCOMORE, CADUC

Son bois présente des qualités techniques semblables à celui du chêne, mais il dure moins longtemps. L'absence de résine et de goût prononcé en fait un bois idéal pour être en contact avec la nourriture. Se teignant bien, il fut longtemps le matériau de prédilection pour la confection de perles et de jouets. Le grain ondulé, de grande valeur, servant à faire les violons, apparaît à la découpe des grumes, mais ne peut être détecté de façon fiable avant la coupe de l'arbre. L'érable sycomore est très résistant à la pollution atmosphérique et aux embruns. C'est le plus grand de tous les érables : certains sujets atteignent 40 m de haut et les plus gros troncs connus dépassent 22 m de diamètre.



### QUERCUS ROBUR, CHENE PEDONCULE, CADUC

Il prend plusieurs formes, mais est généralement un arbre branchu à port irrégulier (20-30 m) et écorce grise fissurée et dure. La qualité du bois d'œuvre varie selon le sol. La longévité semble aussi dépendre du terrain. Les chênes fournissaient du petit bois pour chauffer ou faire du charbon et du bois massif pour la construction. Hélas, aucune de ces utilisations ne nous semble aujourd'hui essentielle. Avec la réduction des ressources en bois tropical, ce bois pourrait néanmoins trouver sa place de producteur.





## 2. La pierre : un matériau présent en abondance

Géologiquement, les Alpes sont utilisées par les Hommes pour l'exploitation de la richesse du sous-sol. Du bas des vallées aux sommets des plus hautes montagnes, des fouilles ont permis de récupérer tout ce qui pouvait leur être utile ou précieux : sel, charbon, minerais de fer, pierre de construction et ardoises. Les plus grandes mines se sont transformées au cours des siècles. Des usines se sont créées autour. Certaines sont toujours très connues aujourd'hui. Les mines ont fait la richesse de la Savoie.



Figure 6 : Implantation des carrières de pierre dans le département

### 3. Le tourisme, une ressource économique essentielle dans la région

D'un point de vue touristique, le département de la Haute Savoie est un lieu idéal pour les amateurs de nature et de montagne : que ce soit la randonnée, l'alpinisme, le vol libre, le ski et tout autre sport d'hiver, ou tout simplement les balades en nature. Aussi bien les amateurs de randonnées pédestres que les alpinistes, ils pourront découvrir des paysages variés au cours de balades ou de randonnée plus soutenues avec le Mont-Blanc, les aiguilles de Chamonix, et les nombreux sommets environnants plus ou moins connus : Aiguille des Drus, Grandes Jorasses, Aiguille verte, Mont-Blanc du Tacul. Aussi, les pratiquants de vol libre seront également comblés avec des sites de vol réputés comme ceux du lac d'Annecy, de Mieussy (berceau du parapente en France), ou de Chamonix.

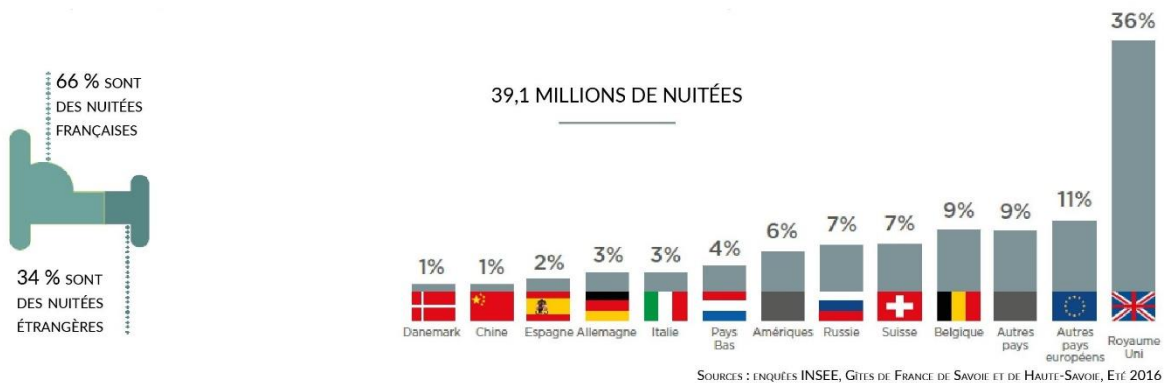


Figure 7 : Occupation des équipements hôteliers par les touristes français et étrangers en hiver

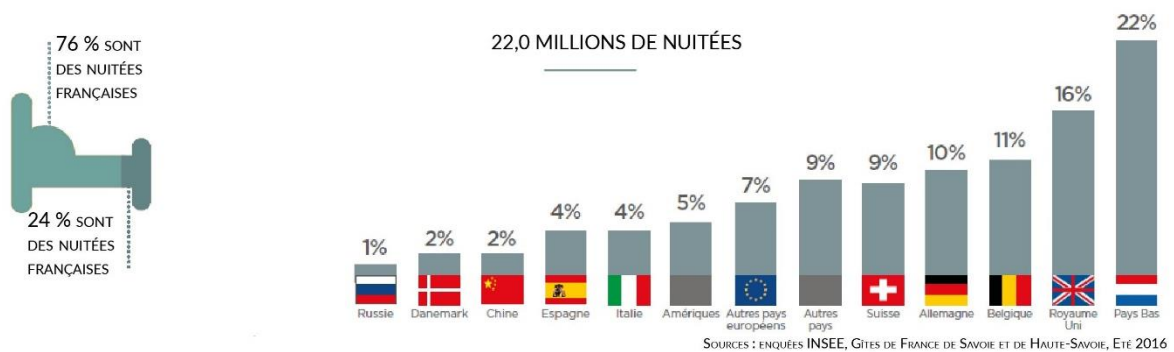


Figure 8 : Occupation des équipements hôteliers par les touristes français et étrangers en été

Cette forte attractivité touristique de la région est une ressource économique pour notre projet. Les refuges actuels sur le Mont-Blanc facturent la nuit à près de 60€. Cela couvre les frais de fonctionnement ainsi qu'une partie des frais de construction.

## II. LA NATURE DU MONT-BLANC

Le Mont-Blanc est un site particulier aussi bien au niveau de son biotope, de son climat ou de la nature même du sol. Afin de pouvoir mieux comprendre le contexte d'implantation de nos projets, nous avons fait une analyse du site et de ses conditions. Cela représente les contraintes majeures d'un projet en haute montagne. Il est donc important de considérer toutes les conditions géographiques et météorologiques pour concevoir un projet selon une démarche biophile.

### 1. Différents biotopes à différentes altitudes

Le paysage, la nature et l'altitude sont étroitement liés. La vie de la faune et de la flore dépend des conditions de températures et d'ensoleillement. Ainsi, certaines zones sont complètement enneigées empêchant la vie des plantes. Plusieurs biotopes sont ainsi établis suivant l'altitude. On peut noter l'étage subalpin de 1700 m à 2300 m, l'étage alpin de 1300 m à 2800 m, et l'étage nival de 2800 m à 4810 m.

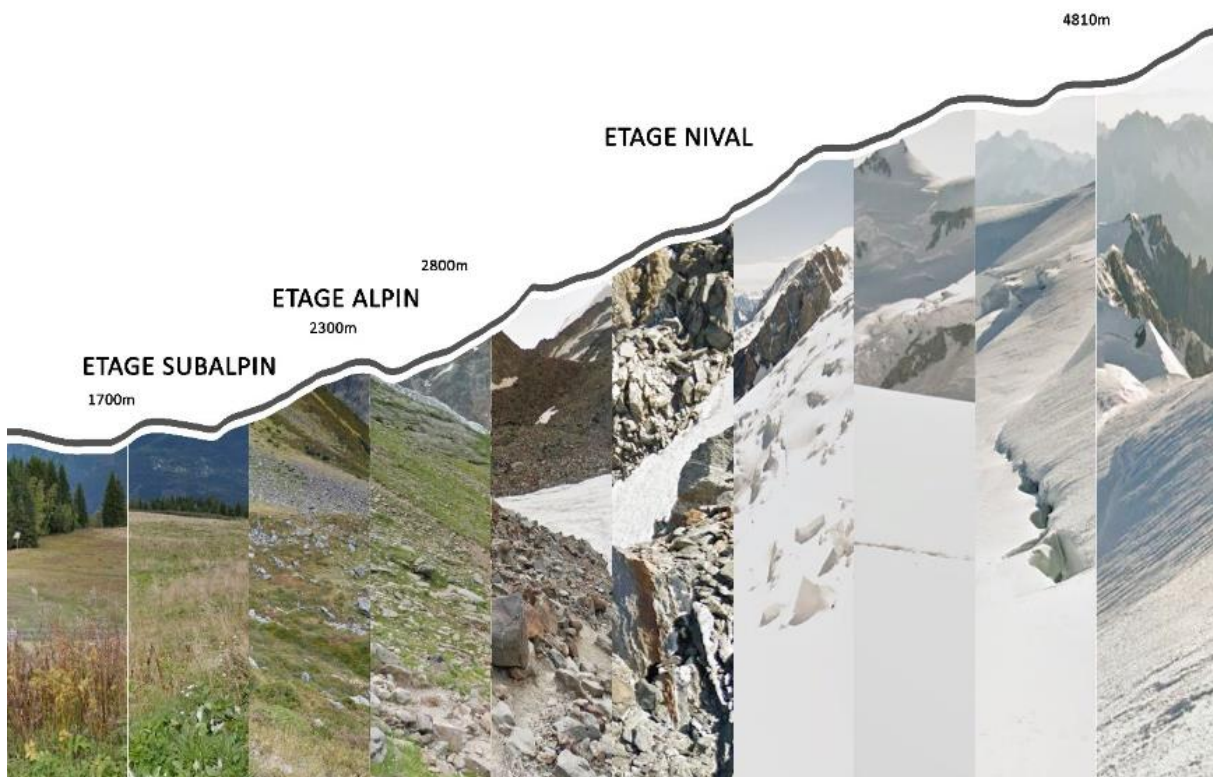


Figure 9 : Coupe du Mont-Blanc avec vue des paysages correspondant à chaque biotope et altitude



Dans les Alpes, les névés persistent au-delà de 2 800 m d'altitude. Les premières pentes du Mont-Blanc se situent vers 3 500 m, elles se trouvent donc au-delà de la limite de l'étage nival. Le manteau neigeux important et les conditions climatiques extrêmes rendent les conditions de vie des espèces végétales et animales presque impossible.

Pourtant, aux altitudes les plus basses ou dans les creux de falaises abritées, certaines plantes arrivent à subsister comme la renoncule des glaciers que l'on trouve jusqu'à 4 000 m. Cependant, la flore se limite essentiellement à des mousses et lichens. Les mammifères ne peuvent pas vivre dans les conditions décrites, contrairement à certaines espèces d'oiseaux : Chocards à bec jaune, Lagopèdes, Accenteurs alpins et autres Niveroles Alpines.

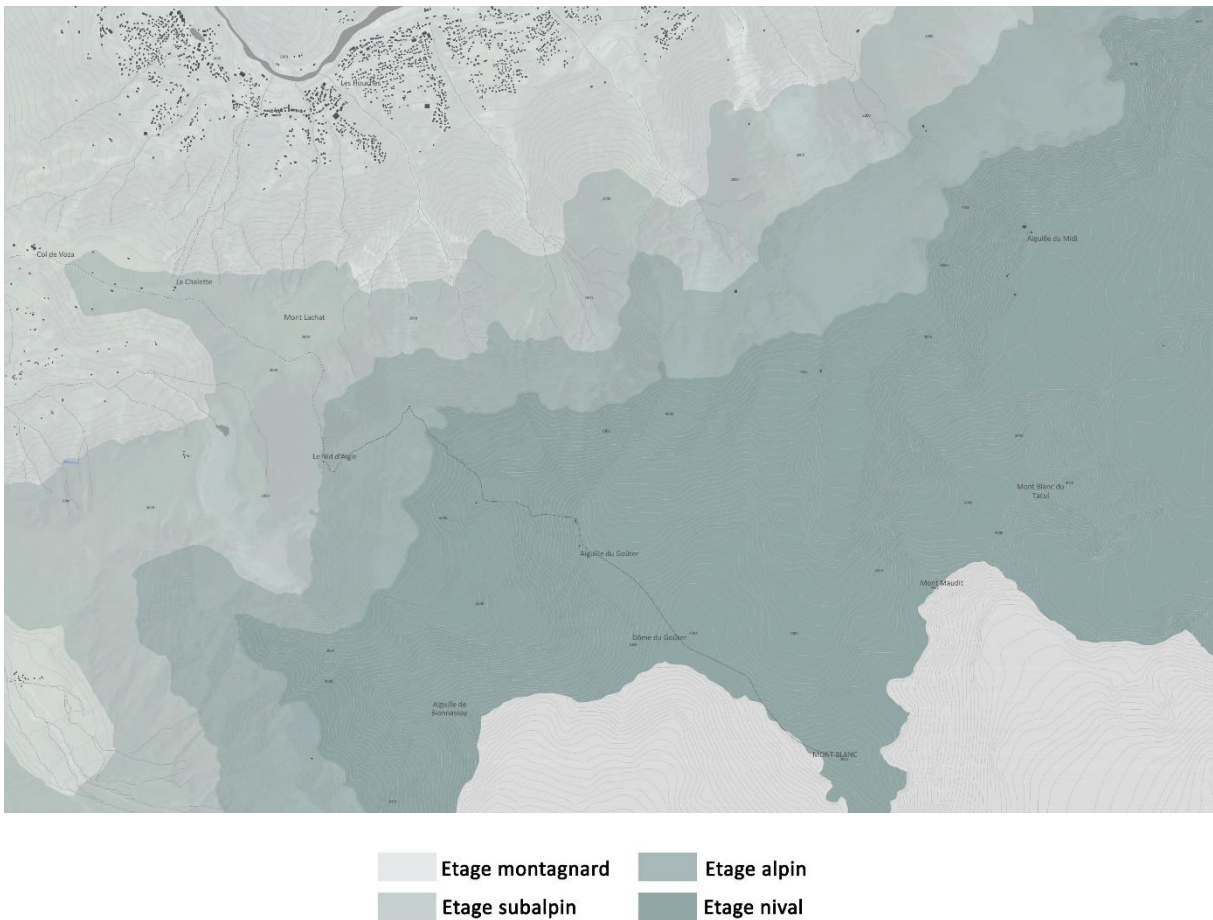


Figure 10 : Carte des biotopes du Mont-Blanc



## 2. Glaciers et enneigement du Mont-Blanc

Il est important de dissocier les glaciers des surfaces enneigées. D'un point de vue architectural, les glaciers et les surfaces enneigées n'ont pas du tout le même impact. Toutefois, les glaciers et la neige peuvent être utiles à atteindre l'autonomie en eau dans le refuge. L'implantation du refuge devra considérer les avantages et les inconvénients de la présence des glaciers et des surfaces enneigées.

L'étude de la position des glaciers est primordiale. En effet, ces derniers bougent de plusieurs centimètres par jour. Il est donc impossible de pouvoir construire sur l'un d'entre eux. Le massif compte environ 90 glaciers encore actifs, répartis sur trois pays : France, Italie et Suisse. Le plus grand et sans doute le plus connu est celui de la Mer-de-Glace, avec ses 12 km de longueur environ.



Figure 11 : Carte des glaciers du Mont-Blanc



L'étude des chutes de neige et de leurs répartitions sur l'ubac du Mont-Blanc permet de mieux appréhender l'autonomie en eau du refuge. Les pluies étant inexistantes à cette altitude, il est nécessaire d'installer des fondoirs à neige afin de récupérer l'eau.

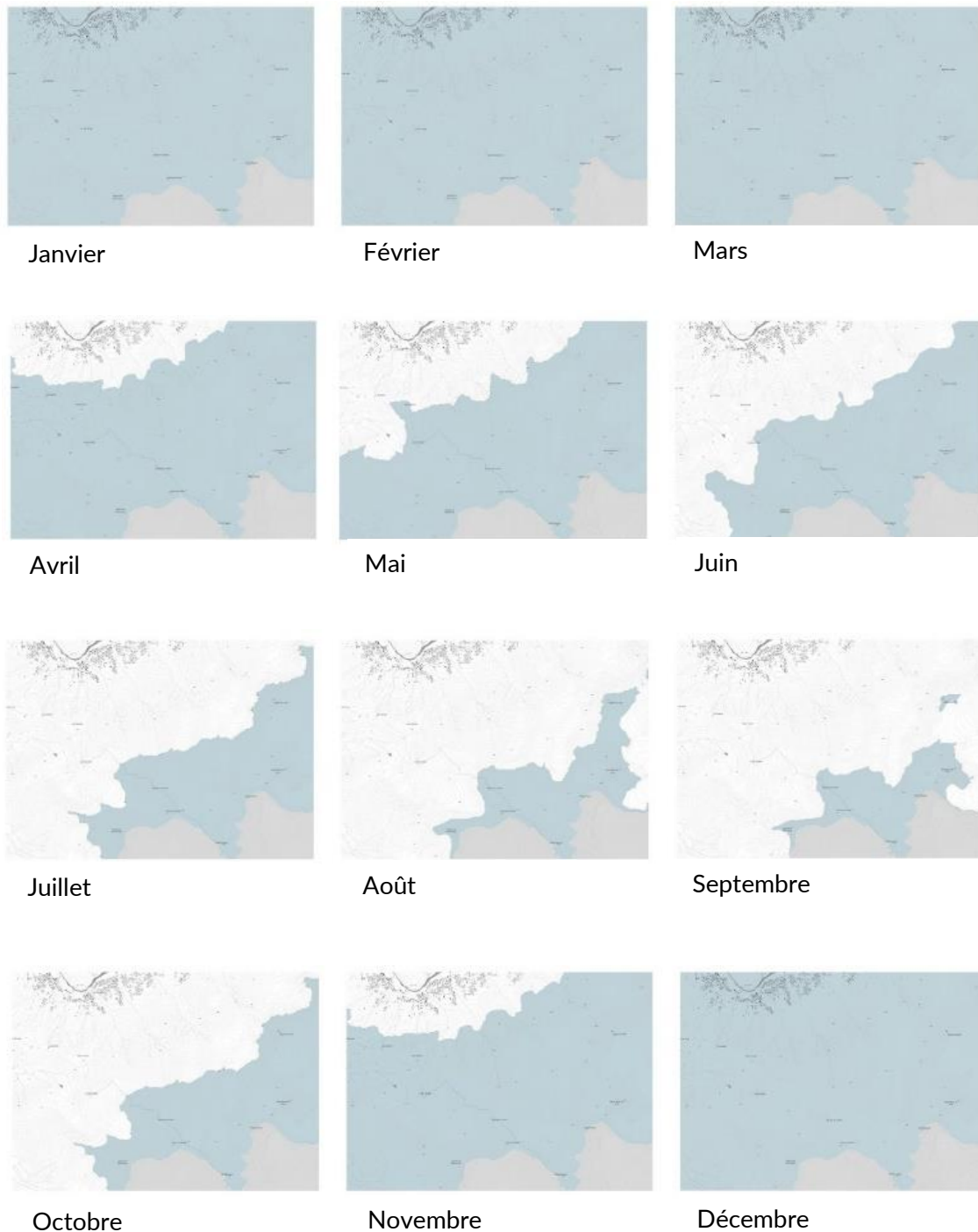


Figure 12 : Schéma de l'enneigement du Mont-Blanc de Janvier à Décembre



### 3. Climat : les conditions météorologiques du Mont-Blanc

Au sommet du Mont-Blanc, la température peut atteindre  $-40^{\circ}\text{C}$ . Les conditions météorologiques peuvent changer très rapidement, le vent renforçant l'effet de froid.

Concernant le projet d'architecture, les données de la nature vont influencer l'implantation des refuges. En effet, le vent et les couloirs d'avalanches proscrivent l'installation de bâtiments dans certaines zones. La présence de neige selon les mois de l'année influence également la conception des refuges car cette contrainte implique différents accès à l'eau, températures, isolation et potentiellement agriculture.

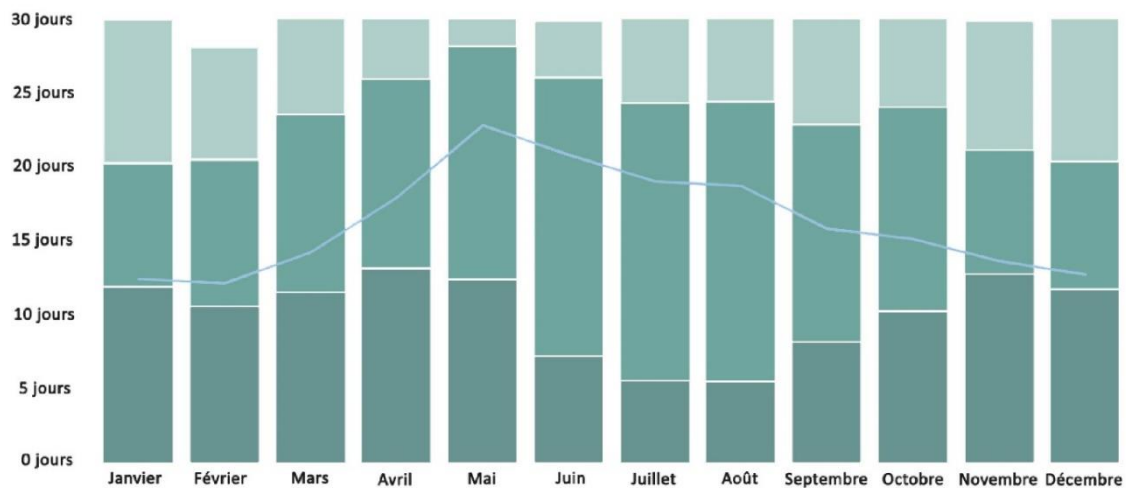


Figure 13 : Ensoleillement du Mont-Blanc en fonction des mois de l'année

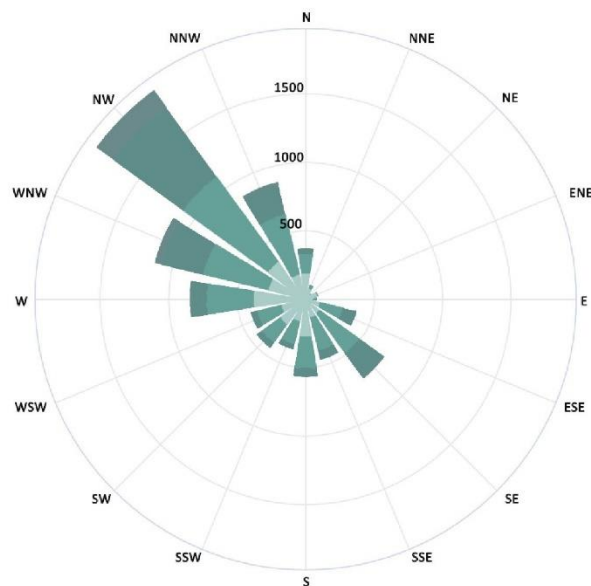


Figure 14 : Orientation des vents sur l'ubac du Mont-Blanc

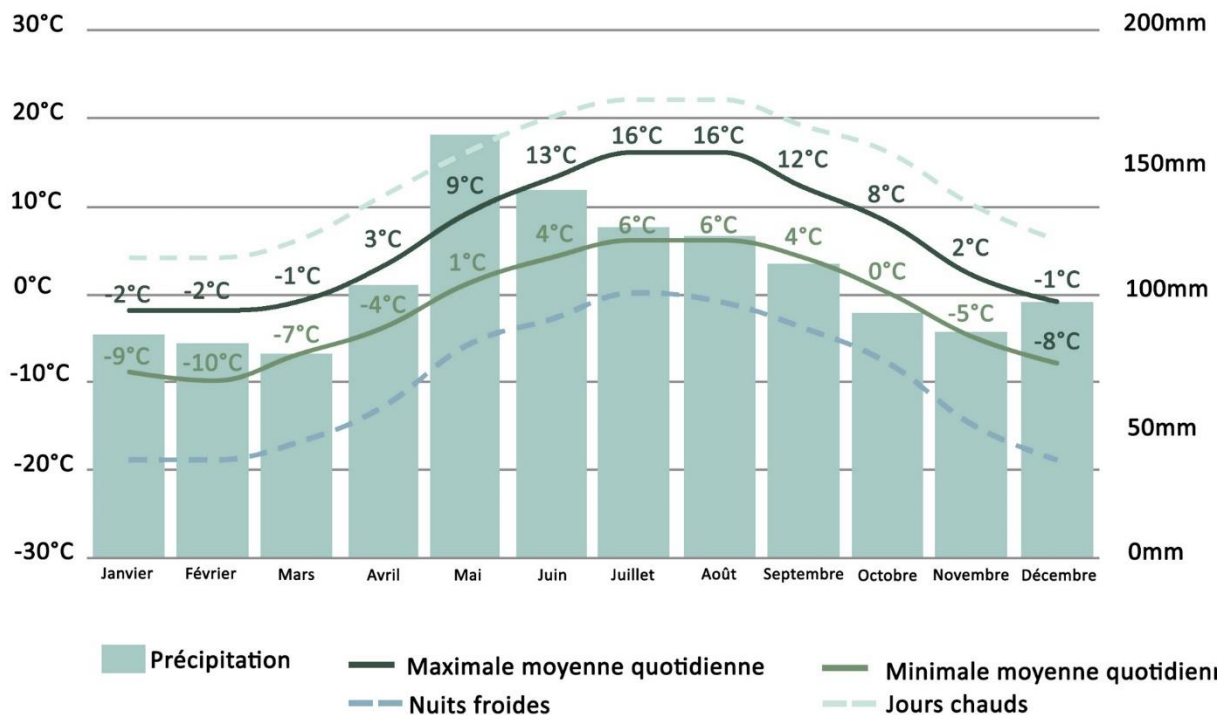


Figure 15 : Températures et précipitations moyennes selon les mois de l'année

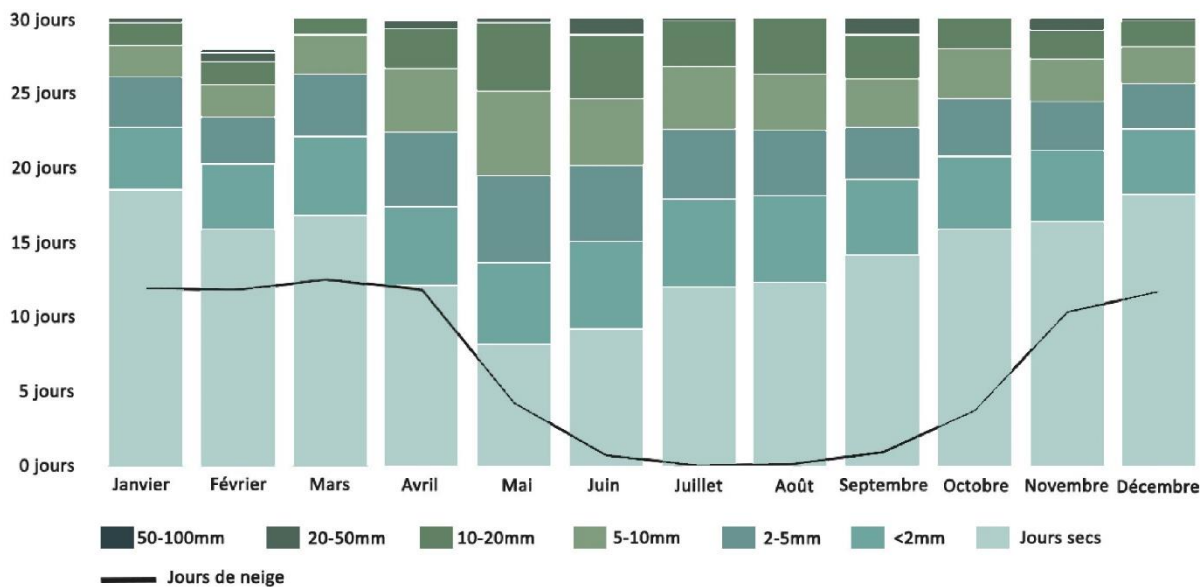


Figure 16 : Quantité de précipitation et de neige en fonction des mois de l'année





## 4. Géologie

Géologiquement, les massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles-Rouges font partie des massifs cristallins externes, avec au Nord et à l'Ouest la zone Dauphinoise (Haut Giffre et Aravis) et au Sud les zones Helvétique et Briançonnaise.

Ils sont composés de Gneiss, de schistes, de micaschistes, d'amphibolites, de granites, de rhyolites, de migmatites et d'anatexites. Le reste de leur couverture sédimentaire est composé de gypse, de grès, de cargneules, de dolomie, de calcschistes et de marnes.

Ces types roches sont suffisamment résistantes pour constituer les fondations du refuge.

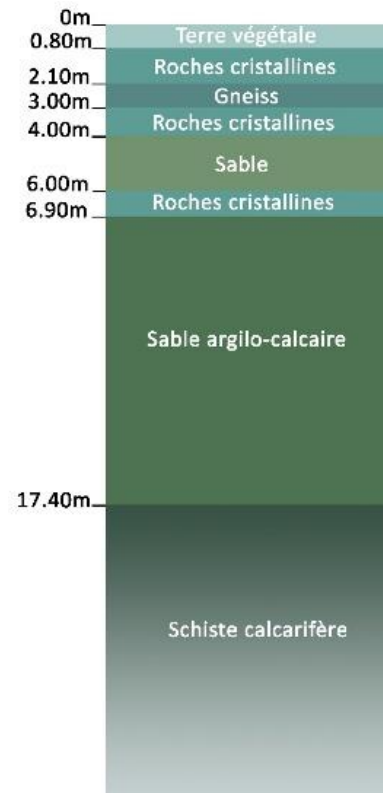


Figure 18 : Log géologique de la Chalette

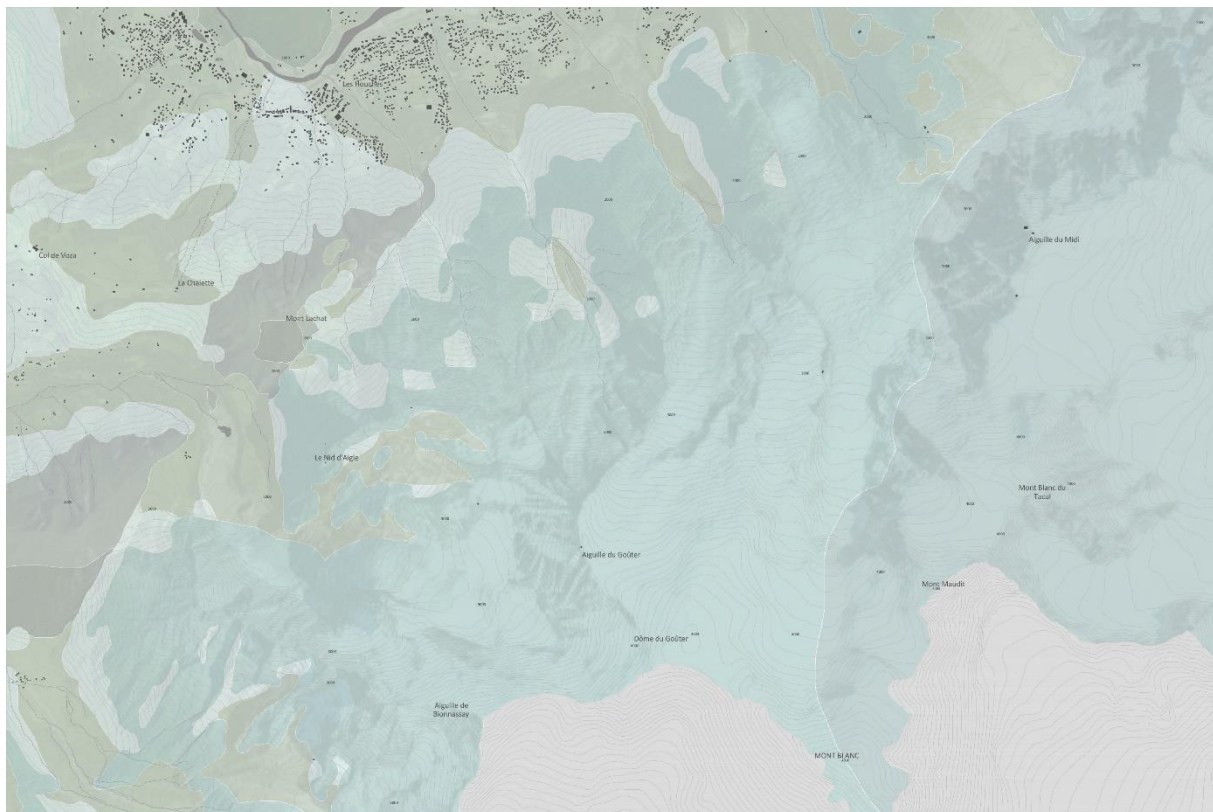
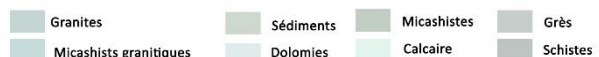


Figure 17 : Carte de la nature des sols du Mont-Blanc



### III. OCCUPATION DU MONT-BLANC

Il existe quatre voies d'ascension du Mont-Blanc. Chaque voie possède des particularités qui lui sont propres. Certaines sont très techniques comme la voie Royale. D'autres sont empruntables toute l'année comme celle des Grands Mulets. Certaines ont des montées mécaniques comme celle des trois monts ou encore sont ouvertes « tout public » comme celle du Goûter. Chaque voie possède ses refuges.

Il nous a été essentiel d'analyser les voies pour comprendre le niveau de difficulté d'ascension, le type de fréquentation et le positionnement des refuges existants. Cet état de l'art a permis de souligner les refuges nécessitant d'être rénové ou reconstruit.

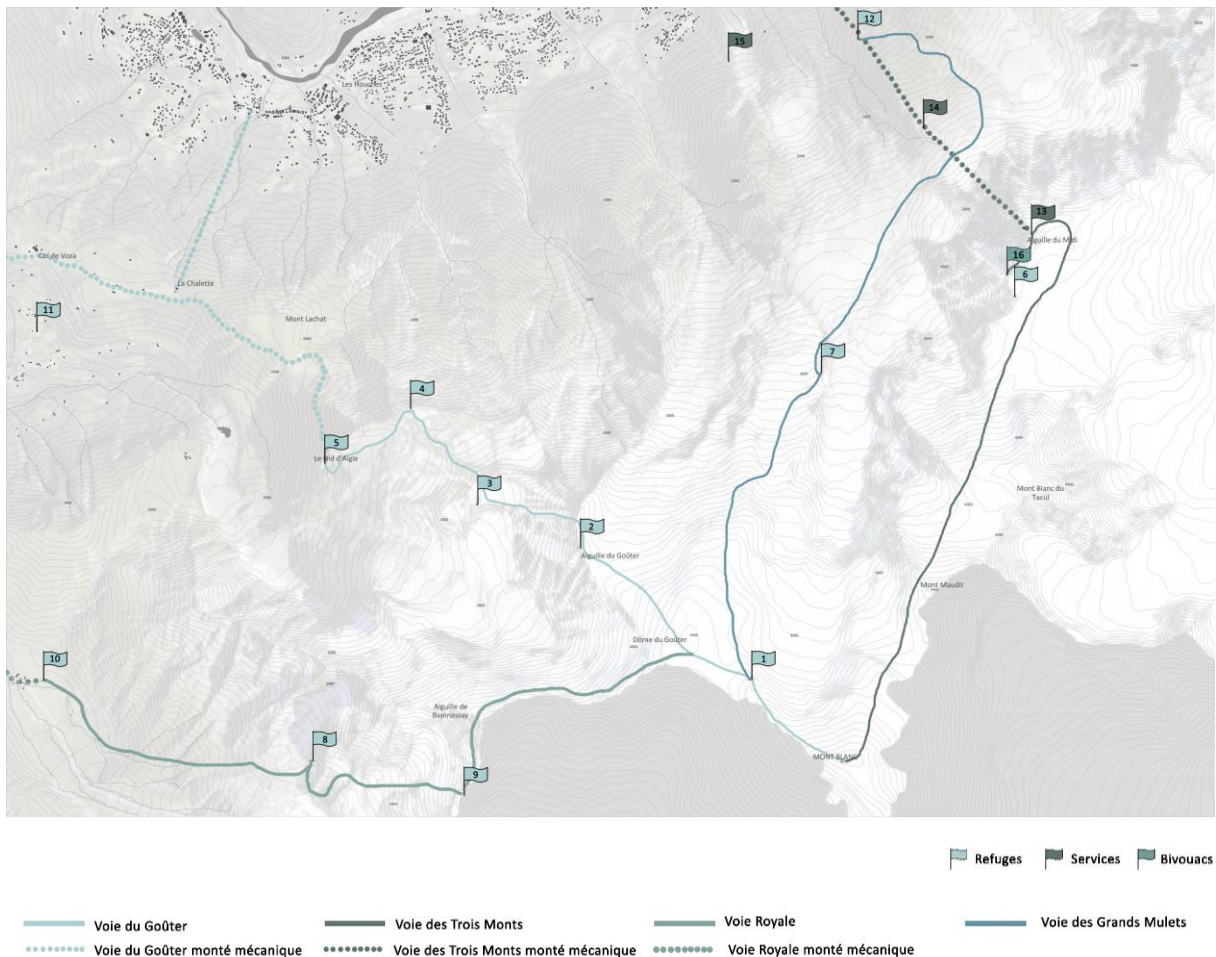


Figure 19 : Carte de l'occupation du Mont-Blanc

## 1. La voie du Goûter

Par la voie du Goûter l'ascension se fait en 2 jours.

Départ des Houches par le téléphérique de Bellevue. Puis l'ascension se poursuit par le TMB (Train du Mont Blanc) jusqu'au Nid d'Aigle (2372m), terminus du TMB.

Jour 1 : du Nid d'Aigle, la voie commence par un large chemin vers le sud puis monte en lacets en direction de la Baraque des Rognes. La suite passe par l'arête en bordure du Désert de Pierre Ronde puis par le glacier de Tête Rousse pour arriver au Grand Couloir où la traversée est risquée par la chute de pierres. La voie se poursuit par l'éperon en rive gauche du couloir afin d'arriver au refuge du Goûter.

Jours 2 : On rejoint l'arête neigeuse au-dessus du refuge puis on arrive au dôme du Goûter que l'on remonte sans aller au sommet laissé à main droite. La voie descend légèrement vers le col du Dôme puis s'engage sous l'abri Vallot. En passant par le plateau puis l'arête des Bosses, la voie arrive au sommet.

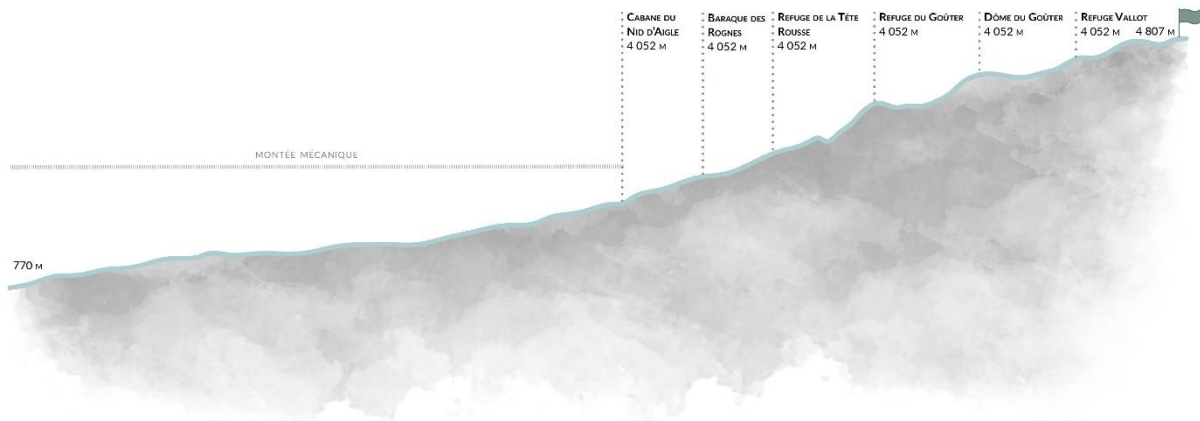


Figure 20 : Coupe du Mont-Blanc par la voie du Goûter



**Cabane du nid d'aigle**  
20 places  
Altitude 2372m



**Refuge du Goûter**  
120 places  
Altitude 3835m



**Refuge de la Tête Rousse**  
12 places  
Altitude 3167m



**Refuge Vallot**  
Pas d'accueil  
Surface 35 m<sup>2</sup>  
Altitude 4362m



## 2. La voie des trois Monts

Par la voie des Trois Monts l'ascension se fait en 6h.

Départ de Chamonix en prenant la télécabine qui monte au Pic du Midi. La voie commence par la descente du Pic du midi pour rejoindre le Mont Blanc du Tacul. A l'épaule du Tacul à 4075 m, la voie se poursuit par le col Maudit. Puis, elle remonte les pentes du Mont Maudit pour rejoindre à droite du sommet, le col du Mont Maudit à 4345 m. Le passage sous le col du Maudit peut être en neige ou en glace. Puis la voie traverse à flanc pour rejoindre le col de la Brenva à 4305 m. Il faut alors gravir le mur de la Côte et les pentes sommitales pour atteindre le sommet du Mont Blanc à 4807 m.

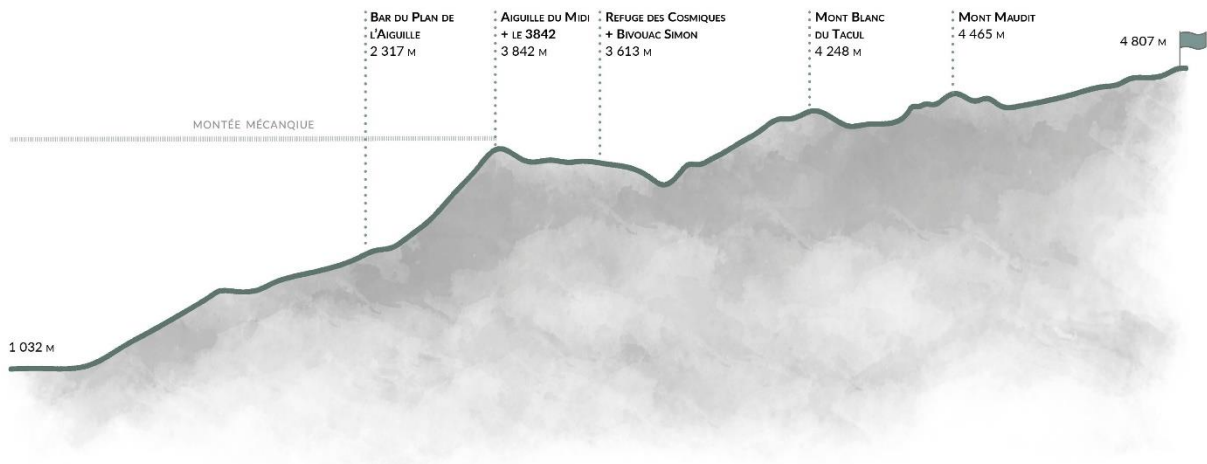


Figure 21 : Coupe du Mont-Blanc par la voie des trois Monts



**Bar du Plan de l'Aiguille**  
Bar  
Altitude 2317m



**Refuge des Cosmiques**  
145 places  
Altitude 3613m



**Le 3842**  
Restaurant  
Altitude 3842m



### 3. La voie des Grands Mulets

Par la voie des Grands Mulets l'ascension se fait en 2 jours.

Départ de Chamonix avec la télécabine qui monte à l'Aiguille du Midi. Cependant on ne prend que le premier tronçon en s'arrêtant au Plan de l'Aiguille.

Jour 1 : Du Plan de l'Aiguille il faut prendre à pied sur le glacier des Pèlerins, puis se diriger vers le glacier des Bossons par une traversée sous le téléphérique de l'Aiguille du Midi sans perdre d'altitude. La voie passe ensuite sous la ligne de l'ancien téléphérique et sous le glacier Rond où il faut faire attention aux chutes de séracs. Du glacier des Bossons il faut ensuite traverser le dédale des séracs et crevasses jusqu'à la Jonction à l'aplomb du refuge des Grands Mulets situé à 3051 m.

Jour 2 : Du refuge, la voie vient rejoindre la rive gauche du glacier, elle passe ensuite par les Petites Montées, le Petit Plateau puis les Grandes Montées jusqu'au Grand Plateau. De là on peut atteindre ensuite le refuge Vallot. En passant par le plateau puis l'arête des Bosses la voie arrive au sommet.

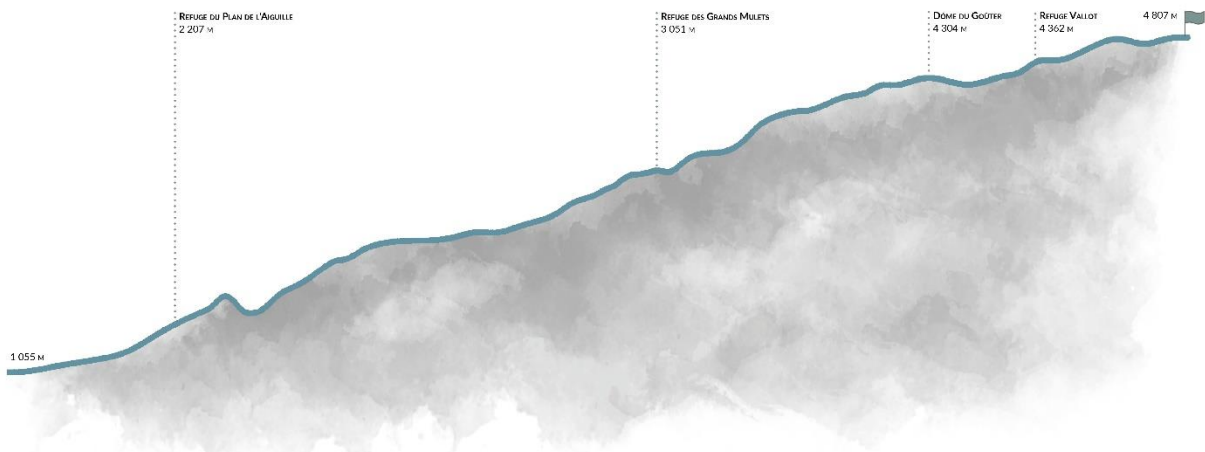


Figure 22 : Coupe du Mont-Blanc par la voie des Grands Mulets



**Refuge du Plan de l'Aiguille**  
15 places  
Altitude 2207m



**Refuge Vallot**  
Pas d'accueil  
Surface 35 m<sup>2</sup>  
Altitude 4362m



**Refuge des Grands Mulets**  
68 places  
Altitude 3051m



## 4. La voie Royale

Par la voie Royale l'ascension se fait en 3 jours.

Depuis la commune de Saint Gervais les Bains il faut prendre la direction des Contamines Montjoie. Peu avant la limite des Communes St Gervais – Les Contamine, il faut prendre la direction du hameau de La Villette.

Jour 1 : le sentier débute au bassin du village. Du bassin, il faut prendre le sentier montant en direction de Le Say et Chalets de Miage. Après avoir contourné Le Say par un nouveau sentier, on arrive au Tranchet. Juste avant le village de Miage, on oblique à gauche pour attaquer la montée du Col de Tricot à 2120 m. Par la suite on atteint la moraine du Glacier de Miage, puis le petit refuge de Plan Glacier, adossé au rocher, sous l'Aiguille de Tricot à 3665 m.

Jour 2 : depuis le refuge Plan Glacier il faut prendre le sentier qui part en dessous du refuge en direction des Dômes de Miage. Ce sentier se perd dans la caillasse/névé après 100 m, il faut alors remonter la pente à gauche jusqu'à la base de la paroi. La voie prend ensuite la direction Sud-Est vers les Dômes de Miage pour se retrouver par la suite au-dessus du glacier de Miage, à un endroit où il forme un plat. L'on doit alors descendre sur le glacier pour le traverser sur le plat jusqu'à l'autre rive, puis remonter le bord du glacier jusqu'à ce qu'on arrive au-dessus de la barre rocheuse à droite. La voie monte alors sur la crête qui monte droit au col de Miage. Au col de Miage on tombe pile sur le refuge Durier.

Jour 3 : depuis le refuge Durier il faut suivre le fil de l'arête de Bionnassay, la voie est composée d'une alternance de rochers à escalader et de glacier à traverser. En suivant les traces de crampons, on retrouve rapidement l'arête neigeuse, qui devient un versant assez raide jusqu'au sommet.

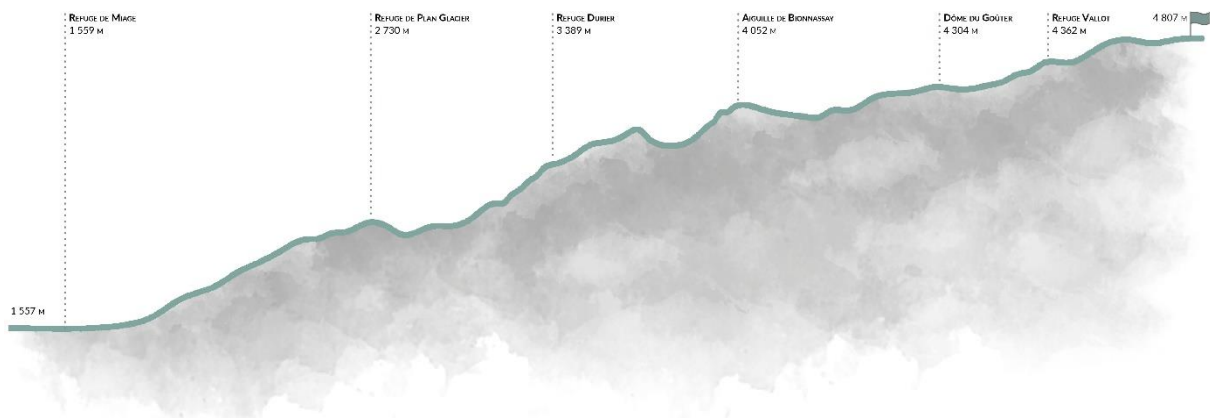


Figure 23 : Coupe du Mont-Blanc par la voie Royale



**Refuge de Miage**

31 places  
Altitude 1559m



**Refuge Durier**

12 places  
Altitude 3389m



**Refuge de Plan Glacier**

20 places  
Altitude 2730m



**Refuge Vallot**

Pas d'accueil  
Surface 35 m<sup>2</sup>  
Altitude 4362m

Pour conclure, le site du Mont-Blanc est un lieu avec un fort potentiel naturel et touristique. Les matériaux locaux de constructions sont diversifiés et abondants. Les projets devront composer avec des biotopes différents en fonction de leurs altitudes respectives ainsi que d'un climat particulier. Les refuges et voies présentent sur les flancs de la montagne sont eux aussi très variés et différents. Toutes ces informations forment la base de notre travail de conception architecturale. Cela permet de fixer les contraintes et les enjeux de ce site unique et atypique. En particulier, les enjeux météorologiques et les enjeux constructifs / techniques sont déterminants des choix de conception du refuge.

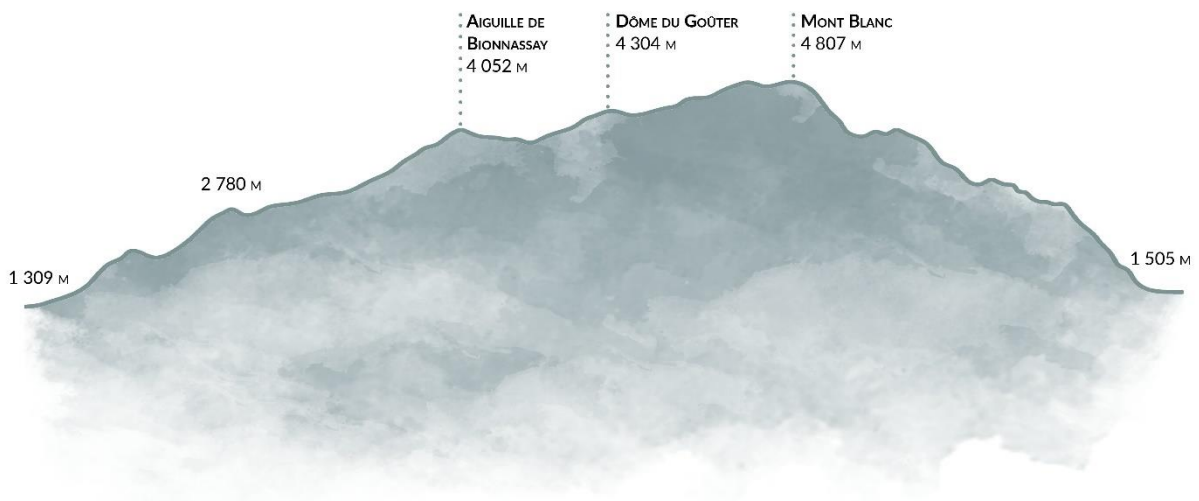


Figure 24 : Coupe du Mont-Blanc

# CHAPITRE 2

## REFERENCES ARCHITECTURALES



À la suite de notre diagnostic de site, nous avons recherché des références architecturales pouvant nous être utiles. La topographie ainsi que la volonté d'impacter faiblement le paysage nous orientent vers une proposition d'architecture troglodyte. Ce type d'architecture propose également des solutions en termes d'économie de matériaux et énergétique. Pour étudier cette proposition, nous allons nous inspirer d'une première proposition perpendiculaire aux courbes de niveaux avec la Casa Tolo d'Alvaro Siza. La seconde proposition est celle du monastère de Ronchamp par Renzo Piano qui développe une architecture parallèle aux courbes de niveaux. Notre dernière référence n'est cette fois-ci pas troglodyte mais est sur le Mont-Blanc étant le nouveau refuge du Goûter réalisé par le Groupe H.

## I. CASA TOLO, ALVARO SIZA

Portugal, 2005 \_ Surface bâtie 180 m<sup>2</sup> \_ Surface terrain 1 000 m<sup>2</sup>

Le terrain est très incliné et présente une configuration particulière : il est très long et étroit.

Pour des raisons de fonctionnalité et d'intégration, il a été décidé d'organiser l'entrée principale en fonction de la rue où le transit par voiture était possible. Cette route mène à la partie la plus haute du Nord du lot. Néanmoins, il est possible d'accéder à la maison par un sentier plus rustique au Sud.

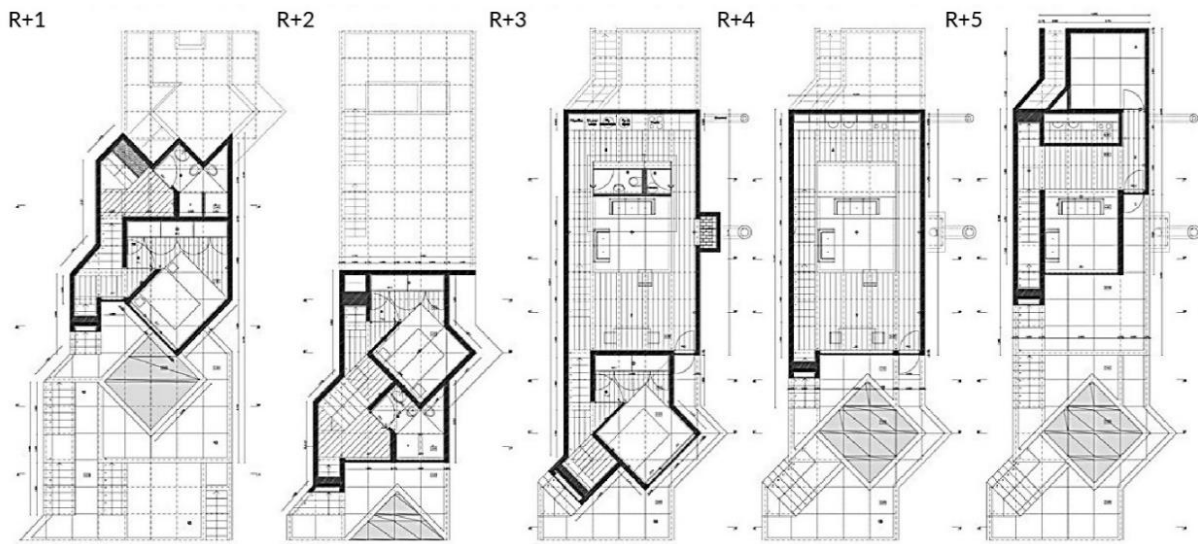


Figure 25 : Plans de la Casa Tolo

Sa forme organise un parcours fondamental en plein air. Les escaliers extérieurs créent un lien entre les patios. Ils reflètent les escaliers intérieurs qui ont la même fonction de relier les compartiments conçus au travers de différents niveaux. Ainsi, les escaliers extérieurs correspondent aux plafonds intérieurs.



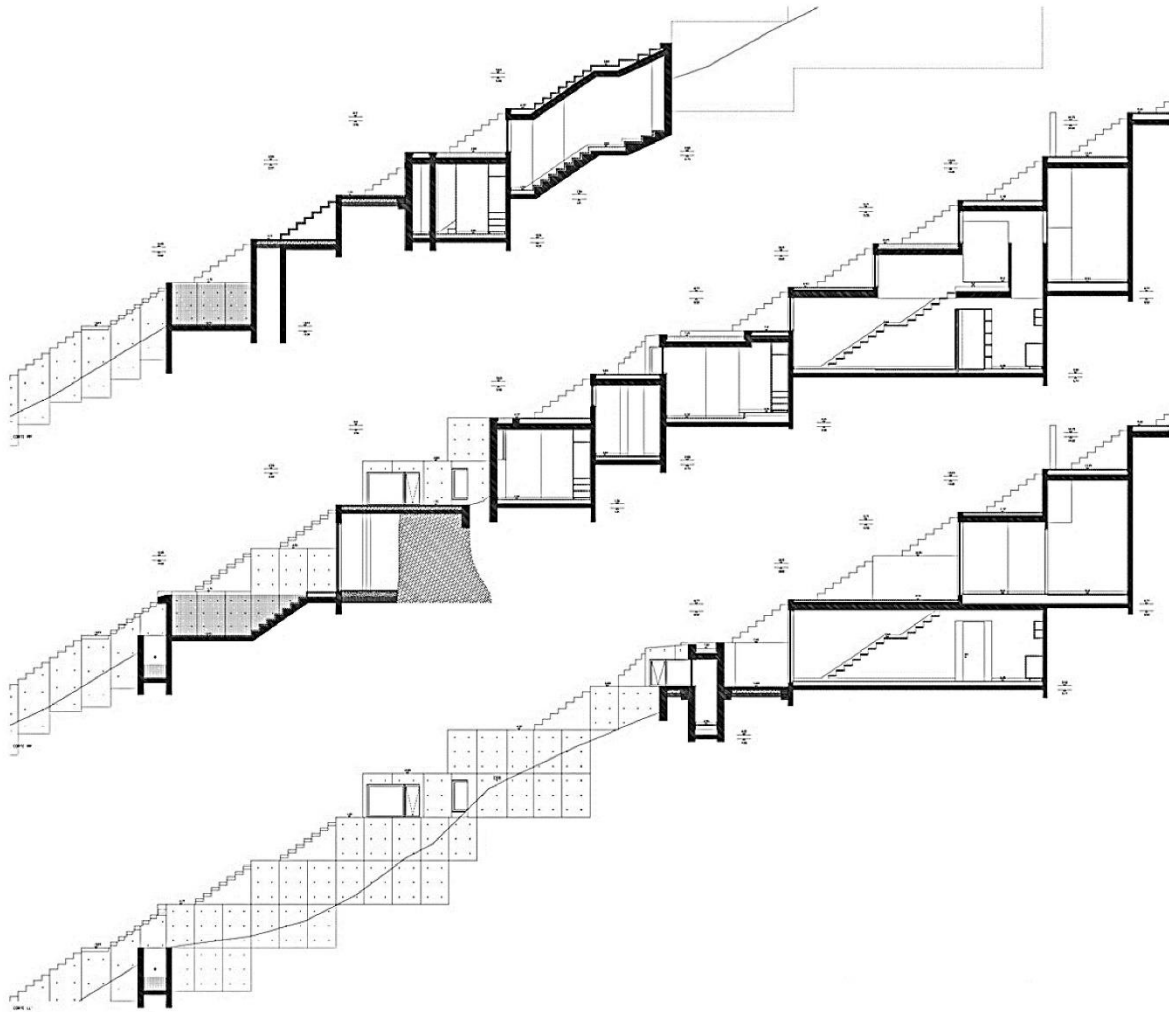


Figure 26 : Coupes de la Casa Tolo

L'orientation au Sud lui permet de bénéficier d'une exposition solaire optimale et de profiter d'une vue naturelle particulière.

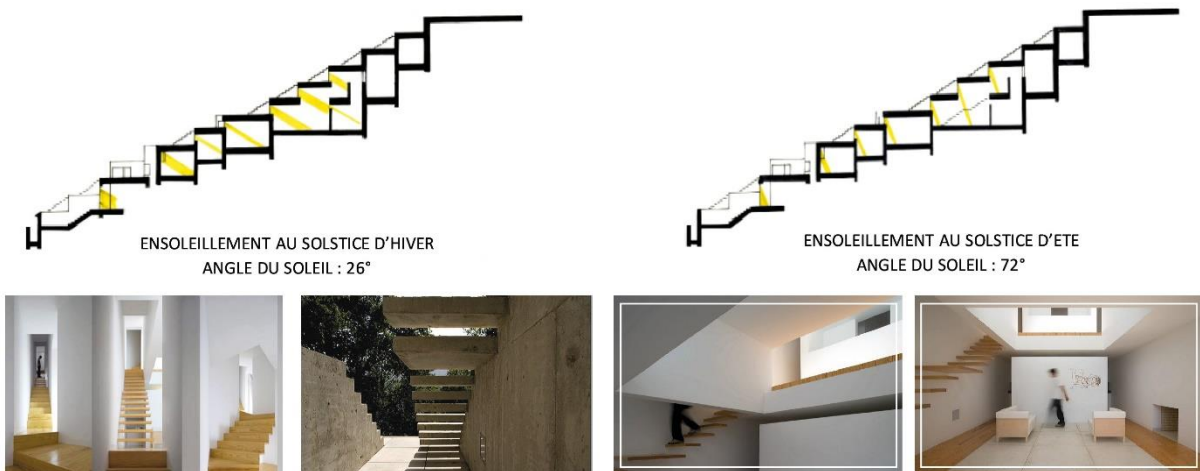


Figure 27 : Apport de la lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment



Les terrasses extérieures s'adaptent solidement, établissant un lien direct avec le jardin. Ainsi, la maison est naturellement unifiée avec le terrain. Le choix du béton exposé crée une idée semblable à celle des pierres massives apparaissant naturellement sur le site.

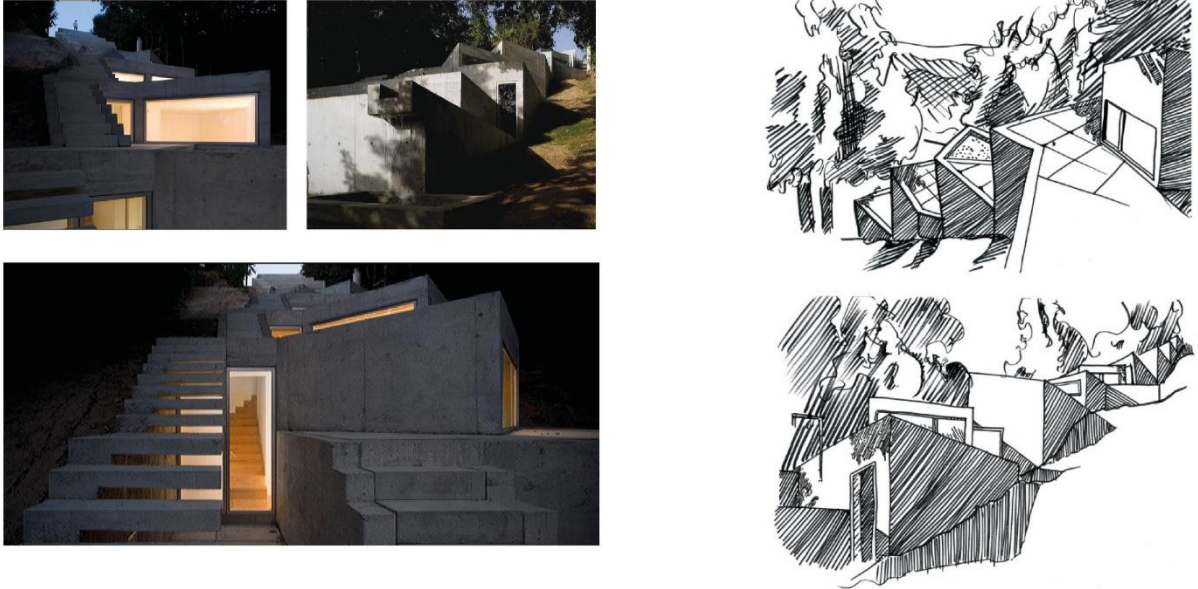


Figure 28 : Ambiance extérieur du bâtiment

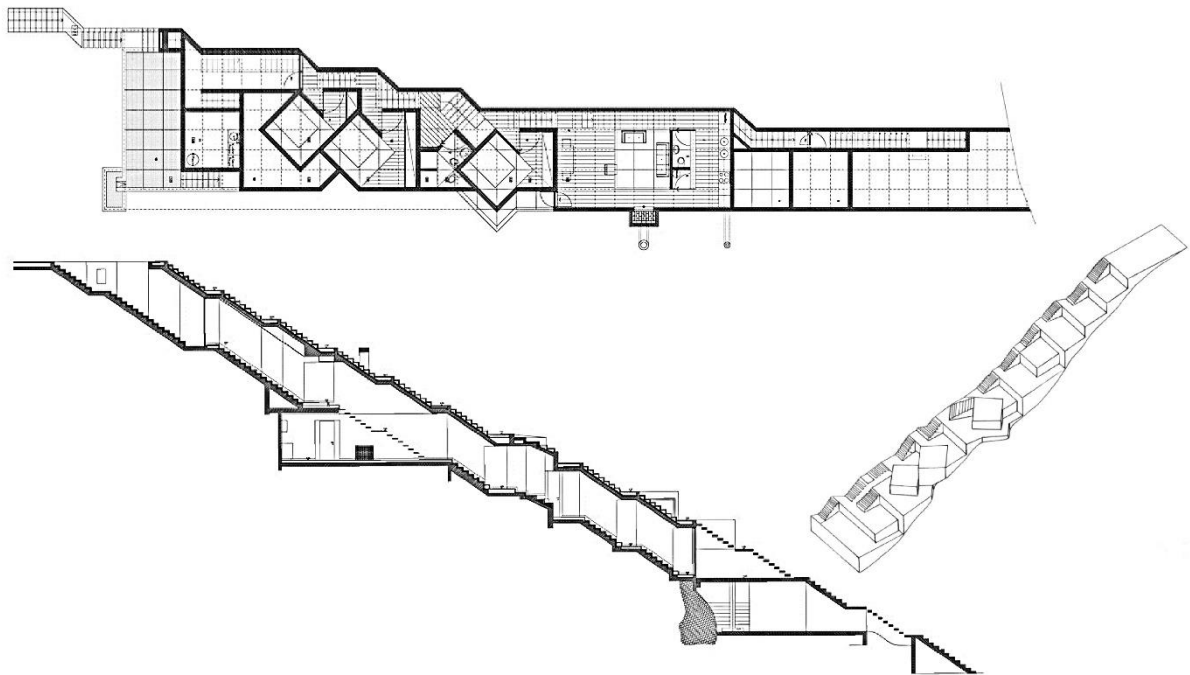


Figure 29 : Une architecture qui s'adapte à la pente



## II. MONASTERE DE RONCHAMP, RENZO PIANO

France, 2011 \_ Architecte : Renzo Piano \_ Paysagiste : Atelier Corajoud \_ 9.000.000 €

Le Corbusier construit à Ronchamp une chapelle en 1955. Jean Prouvé réalise un campanile dans les années 1970.

La problématique pour Renzo Piano lors de l'élaboration de son projet de monastère sur ce site est de savoir comment habiter la colline discrètement alors que 100 000 visiteurs se pressent chaque année au sommet de ce mont. Comment ne pas nuire à l'esthétique Le Corbusier. Renzo Piano décide donc de réaliser un habitat troglodyte pour le monastère, encastré sous la colline, invisible depuis la chapelle de Le Corbusier, à la lisière d'un petit bois.

L'ensemble de ces architectures contemporaines s'inscrit dans un environnement naturel d'exception. Le panorama se déploie sur les quatre horizons : au nord avec une vue unique sur les ballons des Vosges, à l'est sur la Trouée de Belfort, au sud sur les premiers sommets jurassiens et à l'ouest sur la vallée de la Saône.



Figure 30 : Plan masse du site \_ implantation du monastère en contrebas de la chapelle Notre-Dame-du-Haut



Figure 31 : Vue aérienne du monastère de Ronchamp



Figure 32 : Coupe transversale montrant l'implantation horizontale du monastère dans la pente

Le nouveau monastère est un bâtiment linéaire en ciment nu, encastré dans la pente de la colline et ouvert vers la lumière par de grandes baies en verre. Les toits plats et végétalisés se fondent dans le paysage. Le couvent est composé d'une série de modules simples 2,70 x 2,70 x 2,70 qui répondent à des espaces de vie communautaire ou solitaire. L'architecture est minimaliste, tout comme le mobilier en bois et cela correspond bien au dépouillement des sœurs pauvres de Sainte Claire.



Figure 33 : Rapport intérieur / extérieur \_ Omniprésence de la végétation



Le bâtiment, sobre et discret, s'étend sur deux niveaux dont un se trouve dans les plis d'une colline. Concernant l'organisation, la construction en béton, zinc et bois, est constituée d'un couvent abritant un lieu de vie avec des chambres, une salle ou encore un réfectoire avec cuisine. A cela s'ajoute la «Porterie» de la chapelle destinée à accueillir le public qui est axée autour d'une partie publique avec salle de réunion, coin restauration, coin boutique, jardin d'hiver bioclimatique et d'une partie administrative incluant une salle de premiers secours, un bureau pour les chercheurs et un local pour les archives consacrées à l'œuvre de Le Corbusier.



Figure 34 : Coupes d'insertion topographique du monastère troglodyte

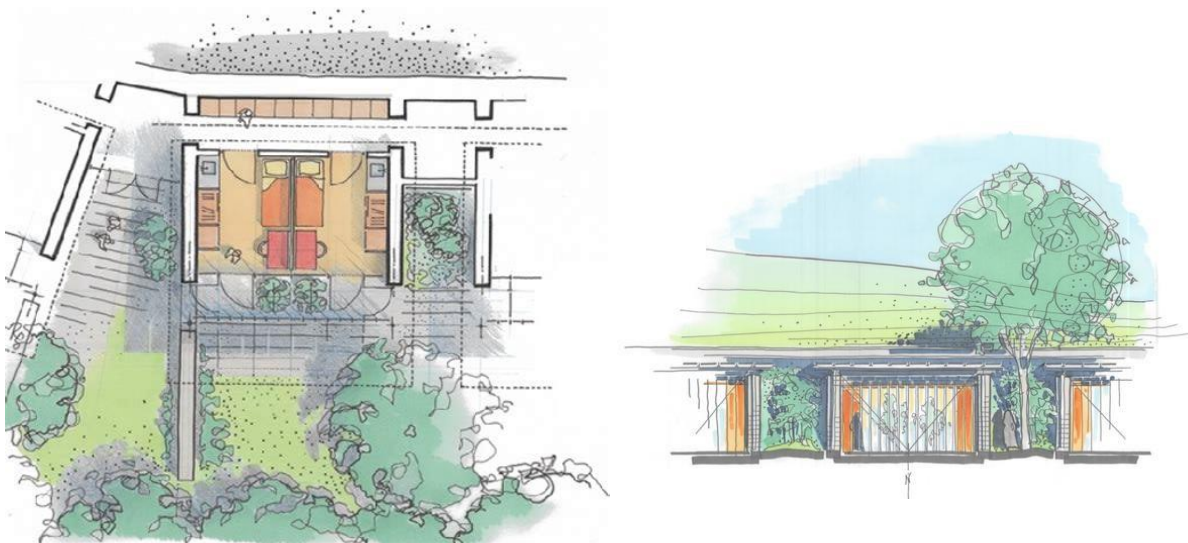


Figure 35 : Plan et élévation du module chambre

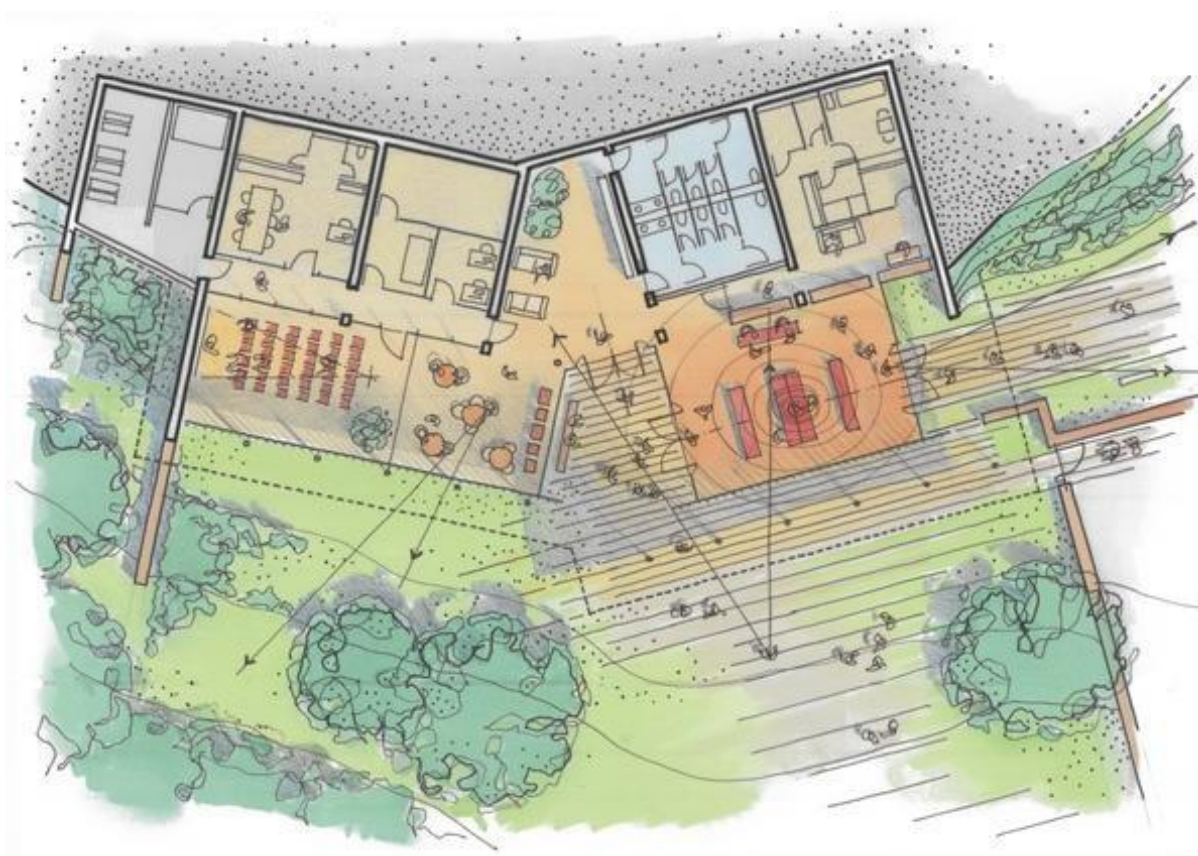


Figure 36 : Plan des espaces communs

### III. REFUGE DU GOUTER, GROUPE H

France 2013 \_ Surface bâtie 681 m<sup>2</sup> \_ Capacité 120 lits \_ 5 500 000€

Perché à 3 835 m d'altitude, sur une des voies normales d'ascension du Mont-Blanc, l'ancien refuge du Goûter est devenu trop vétuste et trop petit (105 places d'hébergement). Les conséquences directes sont alors non seulement sociales (manque de sécurité, de confort...) mais aussi environnementales (utilisation d'énergies fossiles et rejets des eaux usées et vannes dans le milieu naturel).



Figure 37 : Ancien et nouveau refuge du Goûter

Le maître d'ouvrage de l'opération, la Fédération Française des Clubs Alpains et de Montagne (FFCAM) a décidé de reconstruire complètement un bâtiment écologique, technologique en faisant appel à des énergies renouvelables. Le nouveau Refuge du Goûter pourra accueillir 120 personnes. Le refuge fonctionne en totale autonomie :

- \_ l'énergie thermique provient de capteurs solaires et l'électricité de panneaux photovoltaïques.
- \_ le traitement de l'air et le chauffage sont assurés par un système de ventilation double-flux et par un échangeur rotatif.
- \_ l'assainissement repose sur le recyclage.



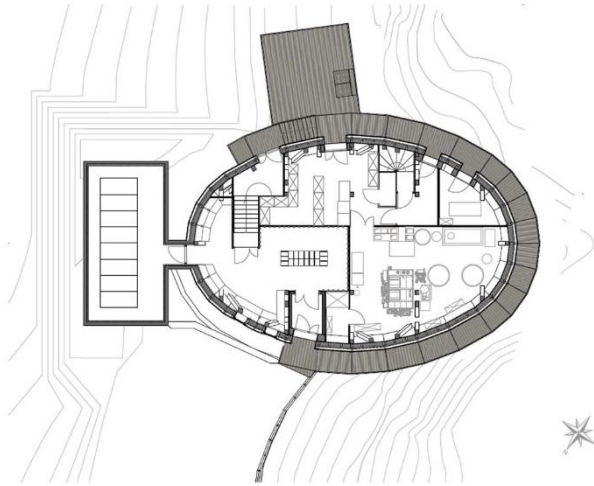


Figure 38 : Plan du RDC, espace de stockage

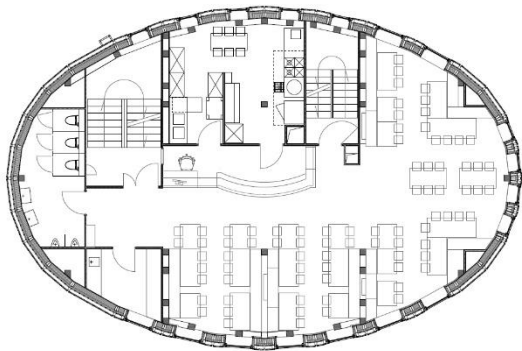


Figure 39 : Plan du R+1, accueil, réfectoire et cuisine

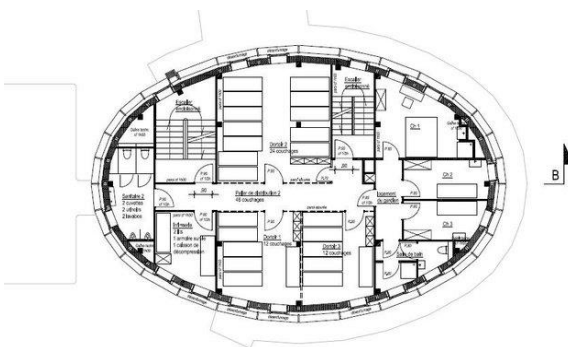


Figure 40 : Plan du R+2, dortoirs



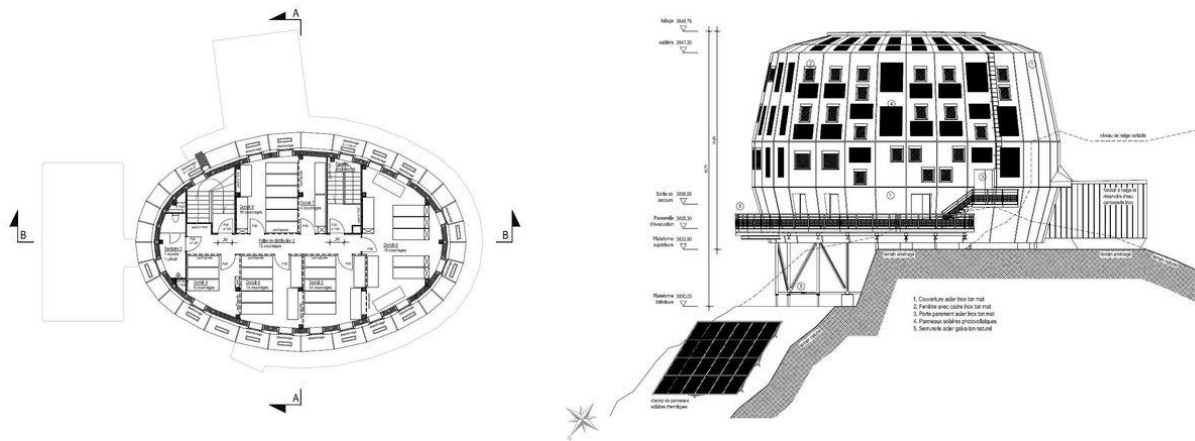


Figure 41 : Plan R+3, dortoirs et infirmerie et élévation Sud-Ouest

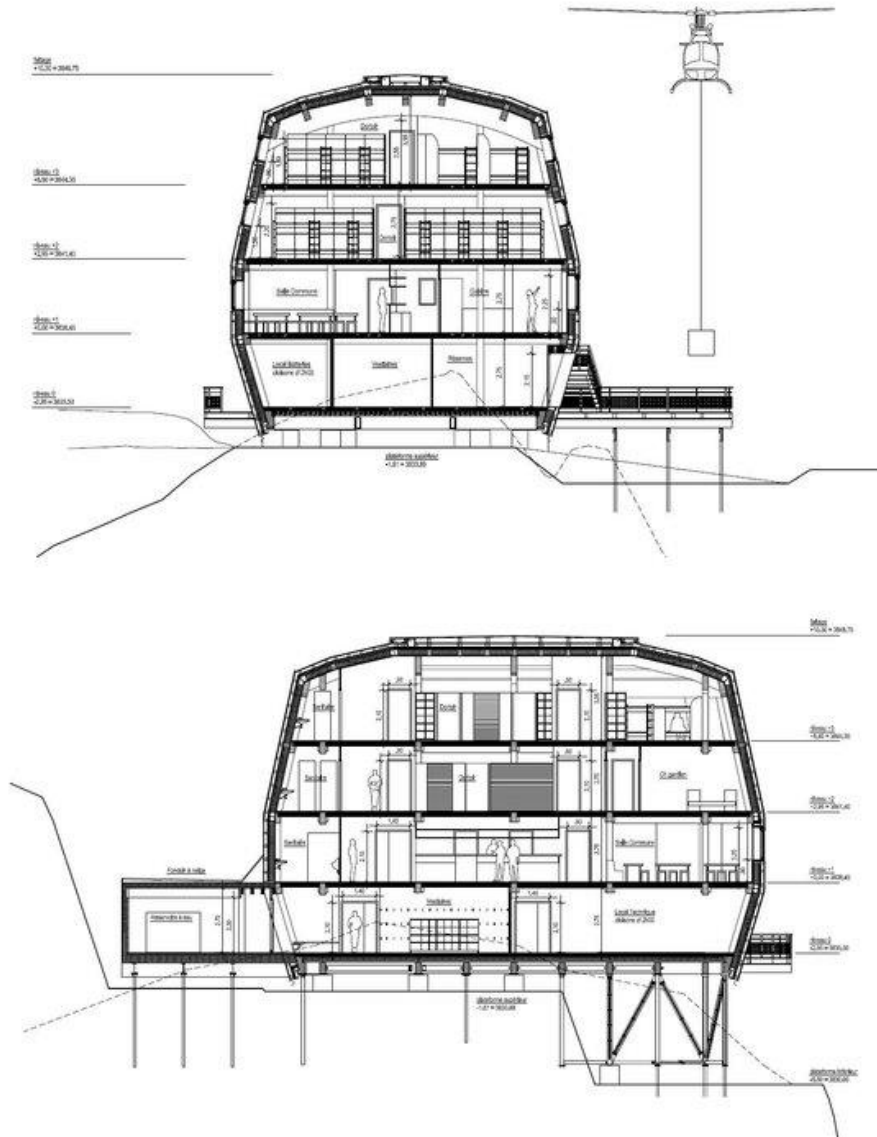


Figure 42 : Coupes du refuge du Goûter



Pour le chantier du nouveau refuge du Goûter, il a fallu un terrassement de 200m<sup>2</sup>. Les fondations seront constituées d'un réseau de 79 micropieux en acier, le scellement des micropieux sera réalisé avec 4,25 m3 de coulis de ciment. Le recouvrement des têtes de pieux sera réalisé en béton armé.



Figure 43 : Terrassement, fondation et structure du plancher

Les essences de bois choisis sont le Douglas et l'Epicéa. La structure en bois local, avec des éléments de moins de 550 kg facilite l'héliportage. L'ensemble des éléments est préfabriqué dans la vallée avant d'être acheminé sur le chantier. Ce procédé réduit notamment le temps de construction mais réduit également la quantité de déchets à gérer à cette altitude.



Figure 44 : Panneaux de façades préfabriqués

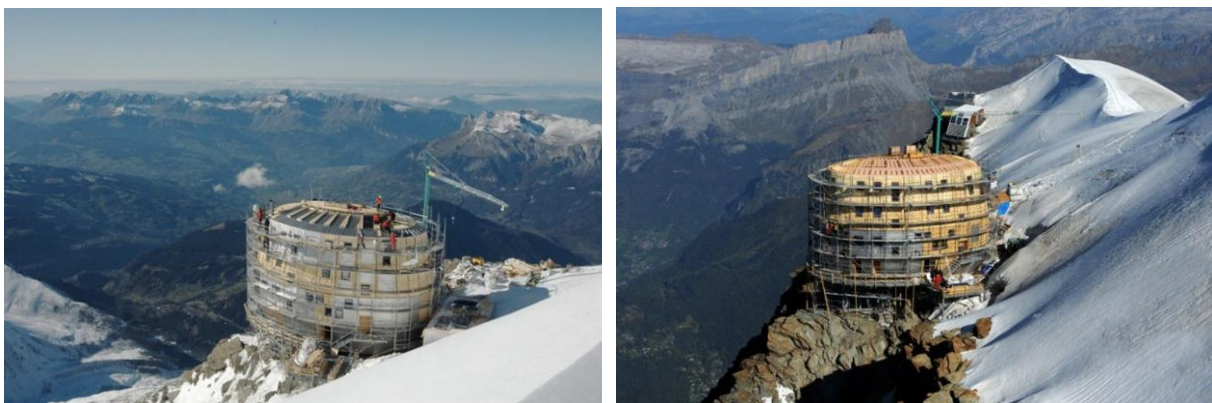


Figure 45 : Revêtement extérieur en acier inoxydable



La production de chaleur est assurée en priorité par 50 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques installés plein sud en contrebas du refuge, avec le groupe de cogénération comme appoint.

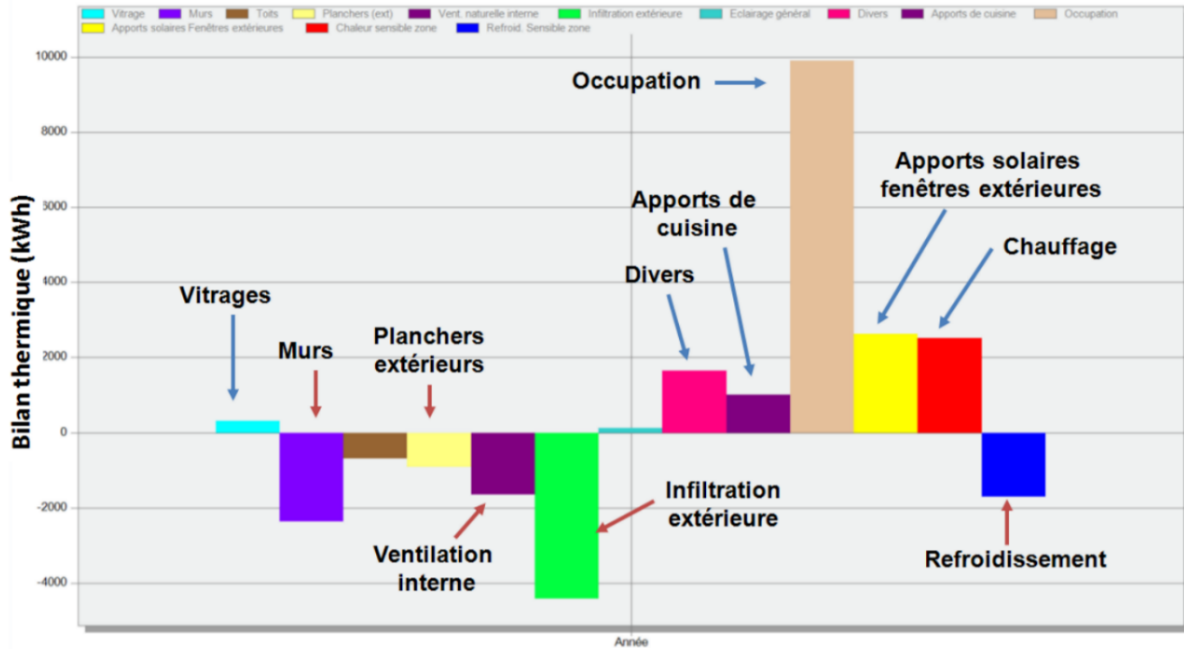


Figure 46 : Bilan thermique du refuge du Goûter

La production d'eau froide est assurée par le fondoir à neige, alimenté par le circuit solaire thermique et le stockage d'énergie thermique en appoint. La production d'eau chaude sanitaire (ECS) est assurée par un ballon de préparation de 1000L, alimenté en chaleur via un échangeur sur le circuit solaire thermique et un échangeur d'appoint sur le réseau secondaire (chauffage) du ballon d'accumulation d'énergie (appoint thermique par la cogénération). Il a été produit pendant la saison 2013 157,8 m<sup>3</sup> d'eau froide à 10 °C grâce au fondoir à neige.

Consommation annuelle d'eaux grises recyclées : 82,10 m<sup>3</sup>

Consommation annuelle d'eau de pluie récupérée : 157,80 m<sup>3</sup>



Figure 47 : Etude en soufflerie pour le fondoir à neige et unité de traitement de l'eau



Le système de production d'électricité est constitué par trois éléments :

- \_ 95 m<sup>2</sup> de capteurs photovoltaïques résistant à 6 kN/m<sup>2</sup> de dépression due au vent, installés sur la façade du bâtiment ;
- \_ un groupe de cogénération bi-énergies, fioul/huile de colza, (puissance électrique de 20 kW au niveau de la mer, 13.3 kW à 3 900 m d'altitude), régulé en fonction des besoins électriques ;
- \_ des batteries de stockages étanches au plomb.

Le système de traitement des eaux est constitué de WC à aspiration sous vide, permettant d'économiser l'eau (1,2 litre par chasse seulement, au lieu de 6 litres) et une unité compacte de traitement biologique à filtration membranaire.

La production d'énergie en conditions météorologiques moyennes est couverte comme suit :

- \_ l'énergie thermique est couverte à 86 % par les capteurs solaires thermiques, et à 14 % par la cogénération ;
- \_ l'énergie électrique est couverte à 59 % par les capteurs photovoltaïques et à 41 % par le groupe de cogénération.

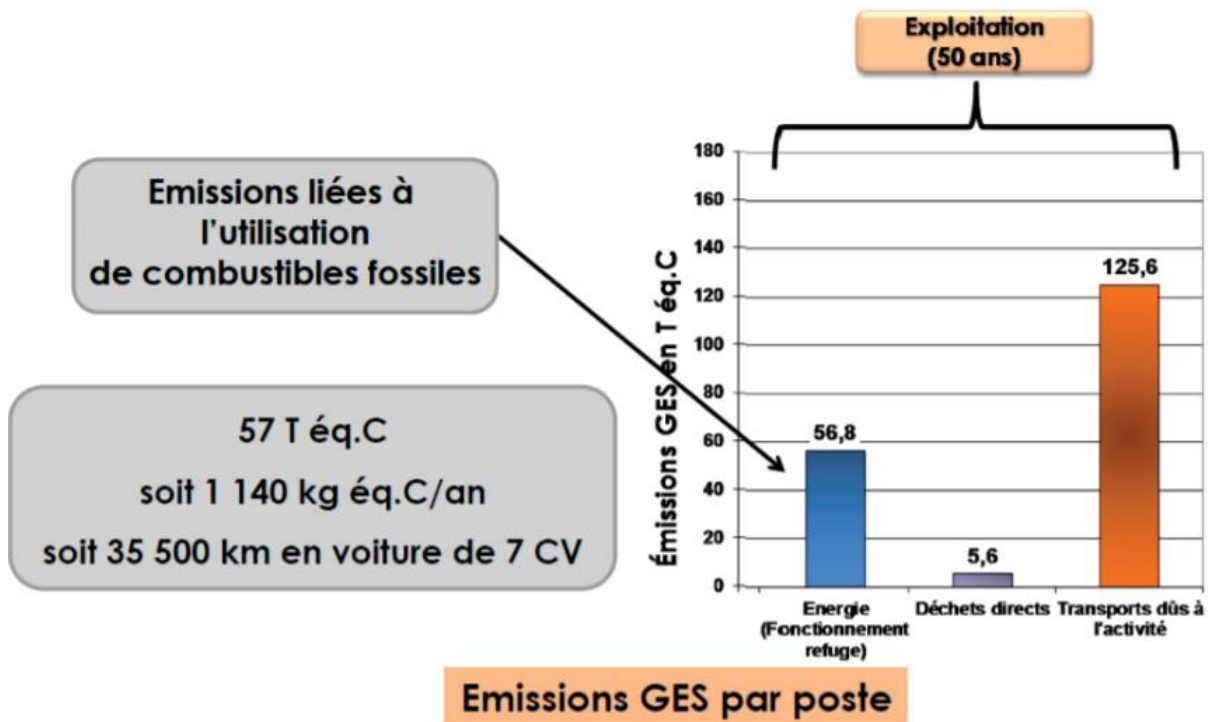


Figure 48 : Emissions de gaz à effet de serre

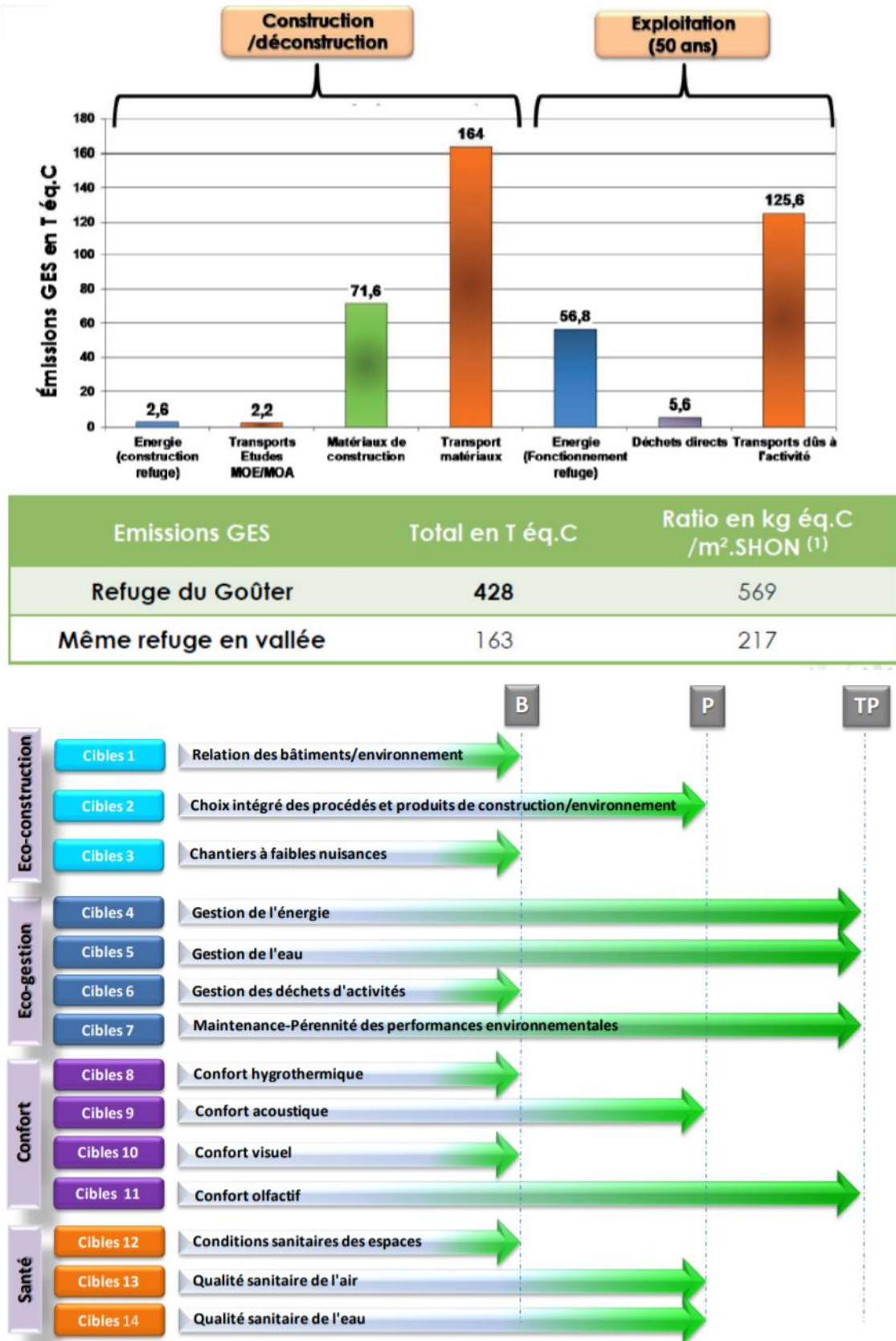


Figure 49 : Synthèse des résultats QEB du refuge du Goûter

Après quelques années d'usage, différents problèmes sont survenus. Ces derniers sont issus de problèmes d'usage de la part des utilisateurs, de problèmes techniques liés aux technologies mises en place ou encore liés à l'altitude extrême de la construction.

### **PROBLEMES DE PRODUCTION D'EAU**

En 2013, dès la première semaine d'ouverture du nouveau refuge, le surpresseur d'eau froide s'est brusquement bloqué. Le surpresseur de secours aussitôt installé par les gardiens s'est lui aussi bloqué après quelques minutes de fonctionnement. Le démontage du premier surpresseur dans la vallée a mis en évidence la cause du blocage : l'aspiration d'emballages de barres chocolatées et de pochettes plastiques de boissons énergisantes.

La parade a été rapidement mise en place :

- nettoyage à l'épuisette des réservoirs d'eau de fonte ;
- nettoyage des canalisations d'aspiration du surpresseur depuis les réservoirs ;
- mise en place de seaux perforés sur l'arrivée aux réservoirs des canalisations d'eau de fonte provenant du fondoir, avec consigne de vider tous les 2 jours les seaux avec les emballages plastiques recueillis.

### **PROBLEMES DE L'EVENT**

Dans le cas du refuge du Goûter, des soufflantes introduisent de l'air en partie basse du compartiment digesteur de l'unité de traitement biologique, pour apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries.

En juin 2013, dès la première semaine d'ouverture, des odeurs désagréables sont apparues dans tout le refuge. Pendant l'hiver, le névé s'était développé en direction de la plate-forme d'hélicoptage du refuge, et la sortie de l'évent se retrouvait à 2 mètres en-dessous du niveau du névé, complètement obturée. Après quelques jours de fonctionnement, un autre phénomène s'est manifesté : avec le nouvel emplacement de l'orifice de l'évent, les vents dominants remontant de la vallée tournaient autour du refuge et ramenaient les mauvaises odeurs du côté de la façade opposée, au niveau de la porte d'entrée du refuge et de la passerelle face à la vue sur le glacier de Bionnassay. Ce problème a été résolu par l'installation d'un conduit vertical en inox, non calorifugé, raccordé en partie basse au tube d'évent, avec un té d'évacuation des condensats, tracé et calorifugé.

En juin 2014, dès la première semaine d'ouverture, des odeurs désagréables se sont de nouveau manifestées dans tout le refuge. Lors du déneigement du vide sous le refuge, les ouvriers avaient arraché le câble d'alimentation du traceur électrique de l'évent, qui était pris en glace. Ce problème d'évent est donc réglé, avec la consigne d'exploitation suivante : tous les 2 jours, il faut donner un coup de piolet sur la stalactite de glace qui se forme inmanquablement à l'orifice de sortie des condensats.

## PROBLEMES DE L'UNITE D'ASSAINISSEMENT

Dès l'ouverture du refuge en 2013, certains utilisateurs ont parfaitement compris le parti qu'ils pouvaient tirer de la capacité d'évacuation des WC à aspiration sous vide, très supérieure à celle de WC ordinaires. Ils se sont donc servis des WC comme d'un vide-ordures... Cela a provoqué des engorgements périodiques de l'unité d'assainissement par des quantités considérables de matières non biodégradables. À la fin de la saison 2013, c'est plus de 1,5 tonne de déchets plastiques non biodégradables qu'il a fallu sortir de la machine, et il n'y avait plus qu'une membrane opérationnelle sur 4.

Le retour d'expérience de 2013 a conduit le CAF, à décider de la mise à disposition du public de poubelles, avec le service d'hélicoptage que cela implique, et à améliorer la signalétique interdisant le rejet de détritrus dans les WC. Un dispositif dégrilleur en inox sur glissières a été également installé à l'entrée de l'unité d'assainissement pour arrêter les lingettes.





# CHAPITRE 3

## CONCEPTION DES PROJETS ARCHITECTURAUX



Dans cette partie, nous présentons plus en détails notre travail de conception. D'abord, nous verrons les fonctions annexes possiblement envisageables pour notre refuge. Ensuite, nous détaillerons nos projets respectifs de refuges sur deux différentes voies d'ascension du Mont-Blanc : l'un sur la voie des Grands Mulets à 3051 mètres d'altitude, l'autre sur la voie Royale à 2730 mètres d'altitude.

## I. FONCTIONS SUPPLEMENTAIRES ENVISEAGEABLES

### PROGRAMMATION SPORTIVE

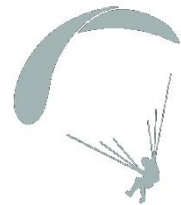
#### Le ski

Le ski de randonnée permet de profiter des pentes vierges de remontées mécaniques. À la différence du ski de fond, l'activité permet de gravir les sommets, grâce à des « peaux de phoque » fixées sous les semelles des skis pour ne pas glisser. Pour la descente il suffit d'enlever les peaux et de fixer ses talons.



#### Le parapente

Les amateurs de sensations fortes peuvent se lancer en parapente au-dessus des sommets enneigés. Quant à ceux qui ne veulent pas totalement abandonner la neige ferme, ils peuvent s'initier au snowkite, version hivernale du kitesurf.



#### La tyrolienne

Entre ciel et terre, cette activité procure des sensations fortes en toute sécurité. Une manière de profiter des paysages de montagne tout en faisant le plein d'émotions.



#### L'alpinisme

Apparu au XIX<sup>ème</sup> siècle, l'alpinisme à son origine concernait uniquement l'ascension des sommets montagneux. Ce sport a ultérieurement évolué en pratiques spécialisées, par exemple l'escalade, la cascade de glace ou le ski-alpinisme, pour finalement inclure tout type de progression en haute-montagne sur terrain rocheux, neige ou glace.



#### L'escalade



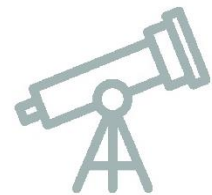
L'escalade, est une pratique et un sport consistant à progresser le long d'une paroi pour atteindre le haut d'un relief par un cheminement appelé voie, avec ou sans aide de matériel. Le terrain de pratique va des blocs de faible hauteur aux parois de plusieurs centaines de mètres, en passant par les murs d'escalade.



## PROGRAMMATION SCIENTIFIQUE

### Observatoire astronomique

L'implantation de l'observatoire s'explique par la pureté de l'atmosphère de haute altitude. Le nombre de nuits utilisables pour la photométrie s'avère également exceptionnel. De plus étant dans un site reculé, la pollution lumineuse est fortement réduite. La France est également un pays leader dans l'astronomie par interférométrie et cherche à développer de nouveaux laboratoires.



### Etude atmosphérique

Les observatoires de haute altitude jouent depuis un demi-siècle un rôle prépondérant dans le suivi des évolutions à long terme de la troposphère, notamment en ce qui concerne sa composition chimique. En effet, loin des principales sources de pollution, les mesures qu'ils réalisent dans l'air ambiant sont à priori les plus représentatives de la troposphère à grande échelle.



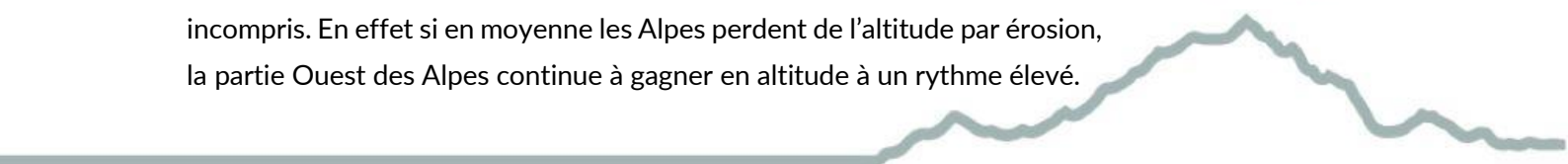
### Etude des glaciers

L'étude des glaciers et notamment de leurs fonte permet d'étudier les conséquences du réchauffement climatique. Ces études permettent également d'étudier les conséquences de cette fonte sur la faune et la flore du massif montagneux. Actuellement toute une série d'expériences sont réalisés sur le Glacier des Bossons qui accélère dans son déplacement.



### Etude géologique

La géologie du Mont Blanc est riche par le fait que de nombreuses roches sont soulevées par la formation du massif des Alpes. Cela met à jour de nombreuses couches stratigraphiques porteuses de fossiles divers et variés. De plus un phénomène géologique est en cours et est actuellement incompris. En effet si en moyenne les Alpes perdent de l'altitude par érosion, la partie Ouest des Alpes continue à gagner en altitude à un rythme élevé.



### Etudes médicales

Le mal aigu des montagnes (MAM) est un syndrome de souffrance, lié à une montée trop rapide en haute altitude, à l'absence d'acclimatation et à une sensibilité personnelle plus ou moins importante. Son incidence est variable, mais augmente très rapidement avec l'altitude. De nombreuses recherches sont menées afin de mettre au point un traitement efficace contre ce mal.



### PROGRAMMATION BIEN ETRE

#### Les centres sportifs

Un entraînement sportif en altitude a pour conséquence d'augmenter la concentration en hémoglobine des sportifs dû au manque d'oxygène dans l'air ambiant. Cela a pour effet pour ces sportifs une fois redescendu à une altitude normale d'avoir de meilleures capacités cardiovasculaire ainsi que moins d'essoufflement à l'effort.



#### Les centres de thérapies

L'air frais et pur de la montagne ainsi que les sources d'eau issues des glaciers sont vues pour certains comme thérapeutiques. C'est ainsi que de nombreux centres voient le jour dans le milieu montagneux afin de bénéficier de ces bien faits naturels.



### PROGRAMMATION DEVELOPPEMENT

#### Développement de matériel

De nombreuses entreprises concevant du matériel sportif en lien avec la montagne doivent réaliser des tests en laboratoire avant de commercialiser leurs produits. De plus en plus, ce matériel est testé en condition réel par des testeurs en haute montagne.





## II. REFUGE DES GRANDS MULETS

### 1. Présentation des enjeux

Le refuge des Grands Mulets est situé sur l'itinéraire historique du Mont Blanc, sur un îlot rocheux à 3051m d'altitude entouré de deux glaciers (celui des Bossons et celui de Taconnaz) en pleine ambiance haute montagne. C'est un lieu atypique et exceptionnel. Le refuge actuel date de 1960.



Figure 50 : Photos du refuge en 1786, en 1896 et en 1960

Le site est très fréquenté au printemps pour le Mont Blanc à ski car il est l'itinéraire direct placé sous la face nord du Mont Blanc.

Après le ski, c'est une voie d'ascension du Mont Blanc en alpinisme hors du commun, loin des foules et sur les traces de Balmat et Paccard en 1786, les premiers ascensionnistes.

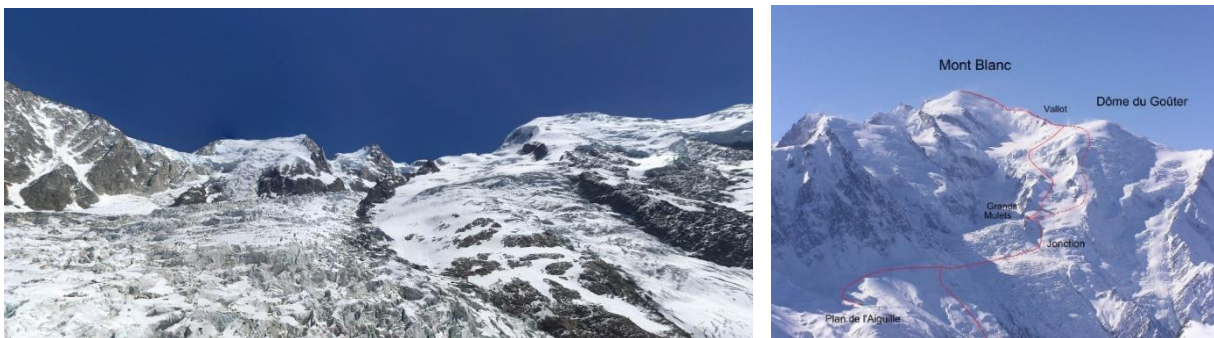


Figure 51 : Ascension au Mont-Blanc passant par le refuge des Grands Mulets

Hors gardiennage, le refuge possède un local ouvert en permanence l'hiver de 16 places. En période estivale, le refuge est gardienné et offre 68 places. Il est gardé du 1 Avril au 31 Juillet. Le refuge des Grands Mulets est l'unique refuge sur la voie des Grands Mulet entre le Plan de l'Aiguille et le refuge Vallot. Son autonomie en eau vient directement du glacier. Le chauffage et l'électricité est assuré par un système au gaz.



Figure 52 : Vue de l'implantation du refuge actuel





Aujourd'hui, le refuge des Grands Mulets, culmine au sommet de son piton rocheux. Sa structure est en bois recouverte par des tôles pour son revêtement extérieur. Les sanitaires sont à l'extérieur et non traités. L'eau est produite en faisant fondre de la glace. Le refuge doit régulièrement être ravitaillé par hélicoptère pour la nourriture, boisson et combustible assurant le chauffage et l'électricité.



Figure 53 : Photos intérieurs du refuge des Grands Mulets

Un autre enjeux est actuellement présent sur ce site remarquable mais n'est pas assuré par le refuge actuel. Comme décrit précédemment, le refuge est situé entre deux glaciers (Bossons et Taconnaz). Ces derniers sont sujets à de nombreuses recherches scientifiques. De plus le site en haute altitude dans une réserve naturel constitue un emplacement idéal pour de nombreuses recherches scientifiques.

Aujourd'hui, ces expérimentations doivent se dérouler dans des structures non prévues pour de long séjour et doivent donc être réalisées dans le temps d'une journée et requiert un aller-retour en hélicoptère. En installant un laboratoire de recherche scientifique adapte à accueillir un petit groupe de personnes cela permet de pouvoir élargir les possibilités de recherches. Ainsi le nouveau refuge des Grands Mulets aura une fonction de laboratoire en plus de celle de refuge. Les expériences scientifiques pouvant s'y dérouler sont les suivantes.

## 2. Programme du projet

Le programme du nouveau refuge des Grands Mulets est le suivant :

\_ Accueil des alpinistes :

Dortoir de 54 lits pour 150m<sup>2</sup> ;

Réfectoire de 54 places pour 95m<sup>2</sup> ;

Vestiaire de 54 casiers pour 23m<sup>2</sup> ;

Sanitaires hommes et femmes avec chacun 1 douche et 3 WC.

\_ Accueil des scientifiques :

Logement pour 6 personnes avec un espace de stockage et de travail.

\_ Gardien :

Logement d'une personne de 37m<sup>2</sup>.

\_ Intendance :

\_Accueil de 4,5m<sup>2</sup> ;

Infirmierie de 4,5m<sup>2</sup> ;

Cuisine de 10m<sup>2</sup> ;

Espace de stockage de 22m<sup>2</sup> ;

Local technique de 65m<sup>2</sup>.

En ce qui concerne les aspects techniques du nouveau refuge, il y a des sources d'énergies variées, à savoir, éolien (fort vent du Nord-Ouest), solaire, atmosphérique avec les gaz présents dans l'air et les glaciers et la neige comme source d'eau.

Pour assurer l'autonomie du bâtiment, il doit être mis en place une unité de traitement des eaux usées, un réservoir de stockage d'eau de 18m<sup>3</sup>, un catalyseur, une pile à combustible, six réservoirs à hydrogène et une VMC.

Au total le refuge est de 662m<sup>2</sup> sur une surface au sol de 206m<sup>2</sup>. Or seul 61m<sup>2</sup> de cette surface est non troglodytique. Le refuge a donc une emprise au sol à 70% troglodyte et 91% de la structure est enterrée.





### 3. Concept du projet

Le refuge est, pour les alpinistes divisé en deux parties. La première est un espace jour qui comprend le réfectoire, le vestiaire, l'accueil et les sanitaires. Il s'agit d'un espace d'échange, de rencontre et de partage. Le second espace est la partie nuit du refuge. Cette dernière est organisée en tours mis à l'écart des nuisances sonores de l'espace jour.

Le refuge, dans la volonté du programme de rester ouvert toute l'année propose un appartement complet pour le gardien qui y reste. Toujours en accord avec le programme un second appartement pouvant accueillir six personnes est également disponible pour les équipes scientifiques. Ce dernier appartement comprend un espace de stockage du matériel ainsi qu'une salle de travail. Ces appartements viennent couronner l'espace jour du refuge et sont accessible par un accès privé afin d'offrir plus d'intimité.

Pour finir le refuge possède un espace technique situé au sous-sol de la parte jour. Cela facilite le traitement des eaux usées qui y descendent par gravité. Le traitement de l'air y est aussi facilité car l'air puisé en extérieur est pris du vide sanitaire au sous-sol. Cela réduit les risques de condensation et de gel tout en réduisant l'énergie à fournir pour le chauffer car nous profitons de l'inertie thermique de la roche environnante.

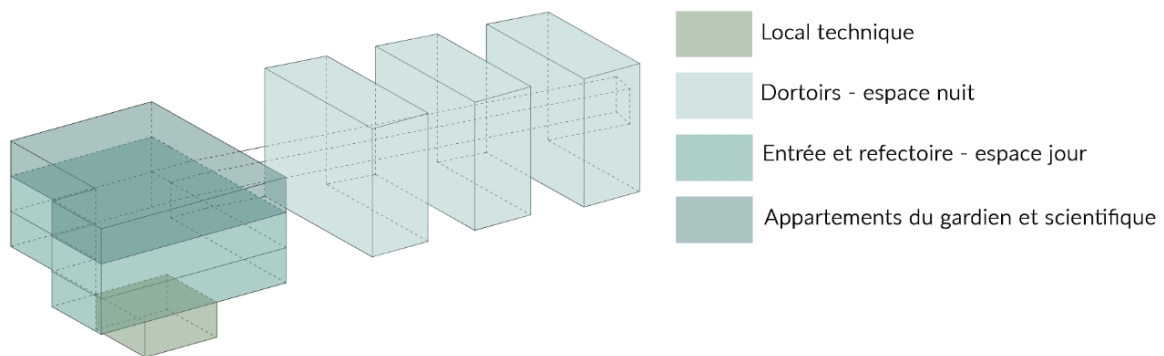


Figure 54 : Schéma axonométrique du projet



Afin d'optimiser au maximum l'espace des dortoirs, une imbrication des lits a été proposée. Cette dernière permet de créer un lit superposé pour trois personnes tout en offrant deux placards de stockages afin de faciliter le travail du gardien, un pour les draps propres et un autre pour les draps sales.

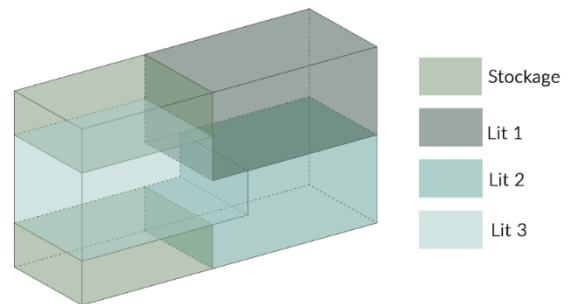


Figure 55 : Schéma d'imbrication des lits superposés

#### 4. Aspects énergétiques et d'autonomie

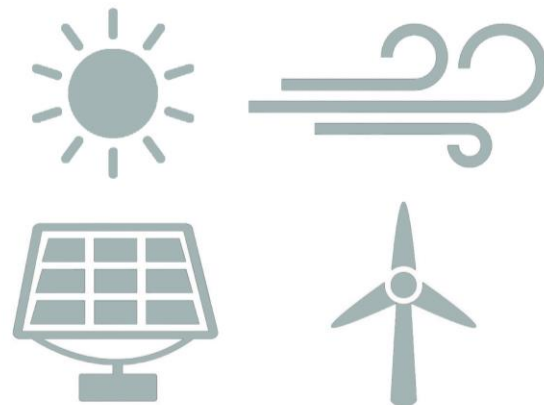
Le nouveau refuge des Grands Mulet a un objectif écologique ambitieux. Il est isolé de tout réseau et donc doit être entièrement autonome. Cette autonomie s'applique également au refus d'être approvisionné par hélicoptère en énergie quelque qu'elle soit. De plus, il est nécessaire de respecter l'environnement immédiat. Donc les déchets issus de la production d'énergie sur place doivent être propres. Pour finir il sera nécessaire de trouver toutes les ressources nécessaires sur place.

##### Des énergies propres

Utilisation d'énergies propres, renouvelables et présentes sur le site du projet tel que le solaire et l'éolien afin de produire l'énergie nécessaire à la vie du refuge.

##### La collecte des énergies

Collecte de ces énergies grâce aux panneaux solaires et aux éoliennes. En optant pour deux énergies et moyens de productions différentes nous avons un système redondant garantissant une production la plus optimale possible pour ces énergies.

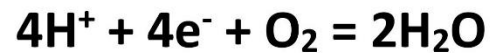


### Le stockage des énergies

Le stockage d'énergie dans des batteries n'est ni écologique ni efficace. Or nous ne pouvons pas dépendre des aléas météorologiques pour le fonctionnement du refuge. Nous stockons alors l'énergie produite sous forme de dihydrogène qui est nettement plus facile à conserver. La réaction nécessite uniquement de l'eau et aura pour seul déchet du dioxygène. Le dihydrogène stocké est alors utilisé comme combustible pour la réaction chimique de la pile. Nous utiliserons une pile à acide phosphorique. Cette pile permettra ainsi de produire instantanément l'énergie nécessaire à l'utilisation du refuge quel que soit les conditions extérieures.

### La pile à combustible

La pile à combustible a un rendement de 80% et peu générer plusieurs mégawatts. La réaction chimique produit énormément de chaleur, soit pour une pile à acide phosphorique 210°C. Cette chaleur sera utilisée afin de chauffer le refuge.



Le refuge étant à 91% troglodyte, un système de régulation thermique majeur de son fonctionnement quotidien est le principe d'inertie thermique. Alors que l'air extérieur varie énormément en température à ces altitudes et peuvent atteindre des températures extrêmement basses, la température des roches est quant à elle constamment à 12°C. La stabilité de cette température permet de réduire la nécessité de chauffage et retire les variations au cours de la journée et des saisons. Afin de bénéficier pleinement de ce phénomène, le refuge ne sera isolé que sur la première partie des murs s'approchant de l'extérieur.

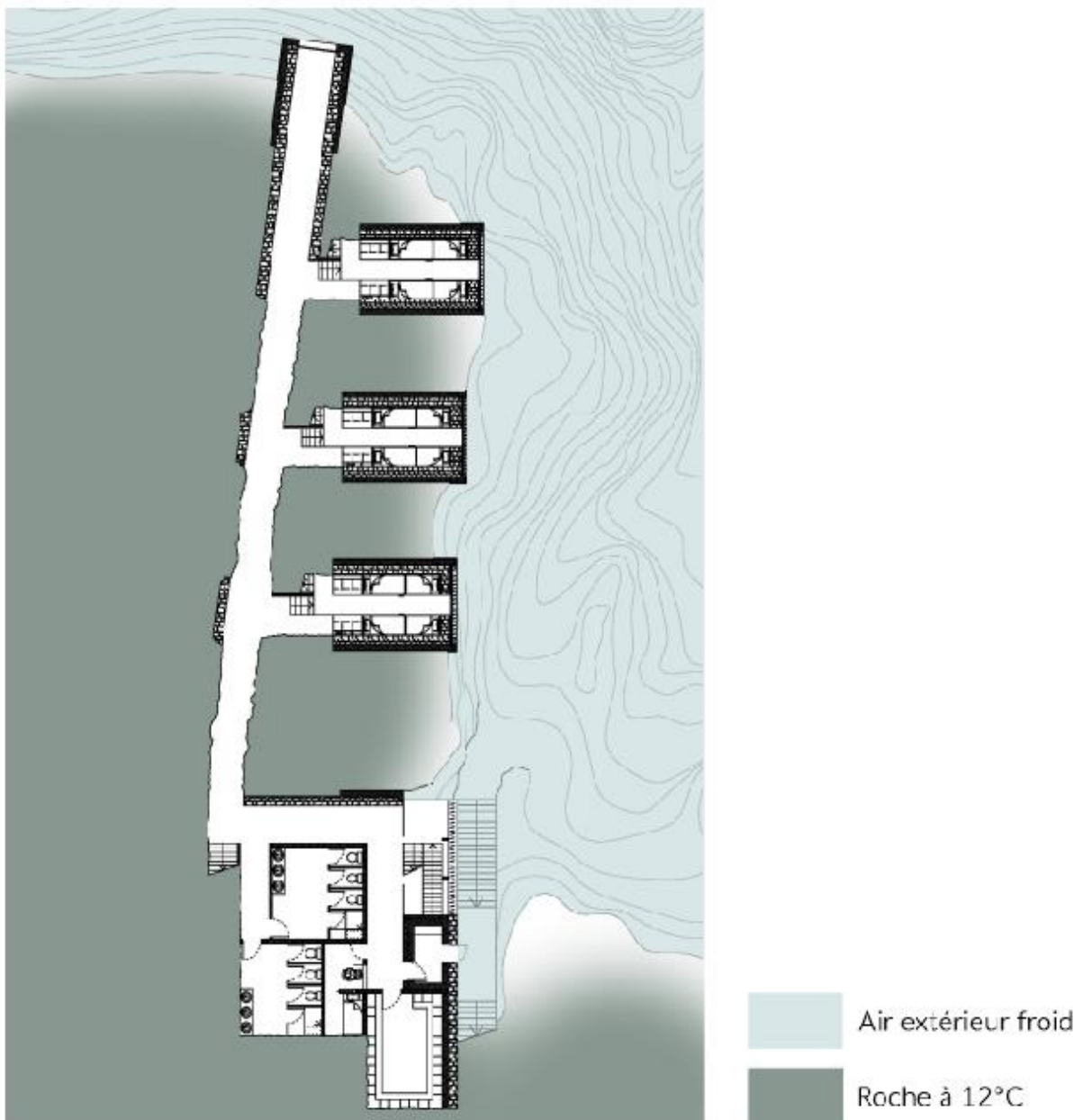


Figure 56 : Schéma de l'inertie du sol

Les énergies étant limitées à de telles altitudes, des méthodes d'énergie passive ont été mis en œuvre sur l'ensemble du refuge. Nous allons prendre en exemple ici le cas des dortoirs.

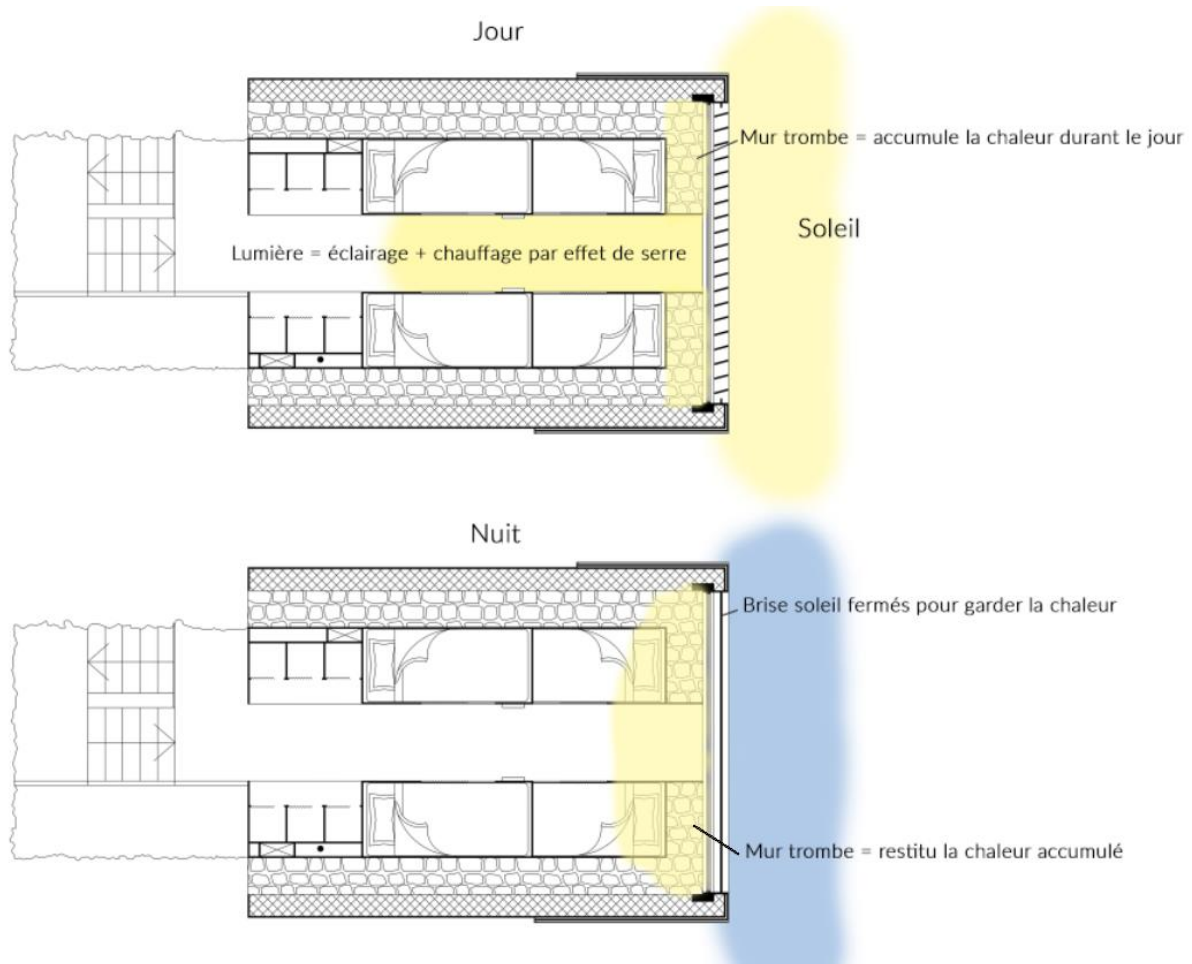


Figure 57 : Schéma d'énergie passive du refuge

De jour, le soleil entre par la baie vitrée et apporte non seulement une solution d'éclairage mais aussi du chauffage par effet de serre. De chaque côté des dortoirs sont présents des murs trombes qui sont faits de pierres issues de l'excavation pour le refuge. Ces pierres accumulent la chaleur durant la journée.

De nuit, les brises-soleil sont fermés afin de retenir au maximum la chaleur en réduisant les pertes par rayonnement et par convection. Les murs trombes, par principe de déphasage thermique, restituent la chaleur emmagasinée durant la journée et apportent ainsi une solution de chauffage passif.



Le refuge, est comme décrit précédemment autonome en énergie grâce à une pile à combustible. Le choix d'une pile à acide phosphoriques pour les besoins du refuge nous donne une température de fonctionnement à 210°C de la pile. Il est donc nécessaire de la refroidir. Ainsi le refroidissement de la pile devient notre système de chauffage. Nous puisons de l'air à 12°C dans la roche sous le refuge puis nous le faisons passer par la pile afin de le chauffer. Cet air neuf est ensuite distribué dans le refuge.

Les dortoirs étant organisés en tours, cela nous permet de faire appel à un procédé physique permettant de renouveler l'air passivement. Nous utiliserons le procédé de cheminée thermique. L'air neuf frais est en bas alors que l'air vicié chaud monte. Le système forme alors une boucle et en créant des ouvertures d'extraction en cheminé en partie haute, l'air vicié s'échappe tout seul. Cet air sort par une éolienne verticale et vient réchauffer la tôle du toit. Cela a pour conséquence de faire fondre toute la neige et donc annule toutes surcharges dû à cette dernière sinon.

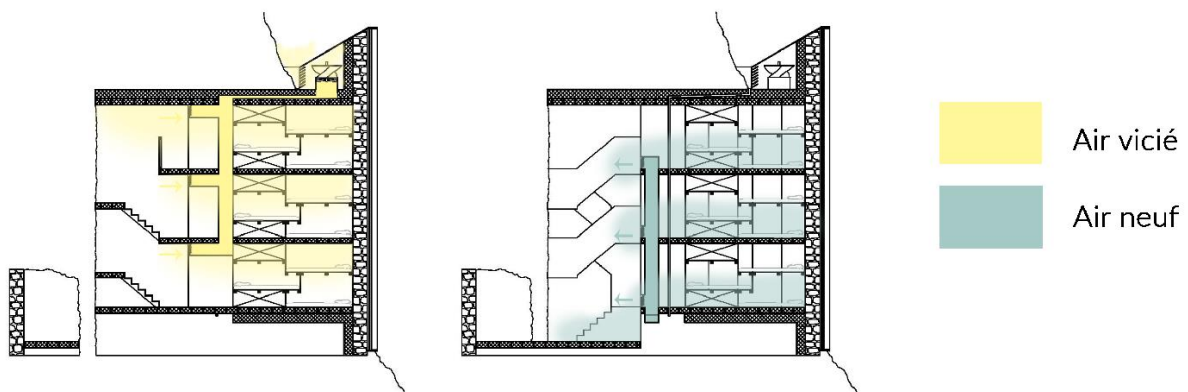


Figure 58 : Schéma de l'effet cheminée thermique

### III. REFUGE DE PLAN GLACIER

#### 1. Présentation des enjeux

Le refuge de Plan Glacier est un refuge marqué par son histoire de l'ascension au Mont Blanc depuis la Voie Royale. Depuis longtemps, les guides de la vallée cherchent à préserver un petit refuge dans ce secteur. Le premier refuge de Plan Glacier fut construit en 1943 sous le glacier de Tricot, vers 2580 m d'altitude. Modeste cabane, elle fut détruite par une avalanche le premier hiver. En 1986, le refuge a été reconstruit, plus haut sur la moraine rive droite, par la Compagnie des Guides de Saint-Gervais-les-Bains sur la base d'une concession octroyée le 1er juillet 1989 et d'un permis de construire délivré le 29 septembre 1987. Mais, en 1990, il a été détruit par le souffle d'une avalanche. C'est en 1991 que les guides décidèrent alors de le construire à son emplacement actuel ; à savoir, sur la moraine du Glacier de Miage, au pied de l'Aiguille du Tricot.



Figure 59 : Photos extérieures de l'évolution du refuge de Plan Glacier



Le refuge de Plan Glacier est aujourd'hui situé à une altitude de 2730 mètres. Ce site correspond donc à l'étage alpin. La faune et la flore sont encore partiellement présentes. A cette altitude, les enjeux ne sont pas les mêmes qu'au sommet du Mont-Blanc. D'une part, il est possible de penser à une production en serre de végétaux. D'autre part, la clientèle est variée du fait de cette altitude. En effet, certaines familles font la randonnée jusqu'au refuge de Plan Glacier, où ils y passent la nuit. Ceci est un enjeu supplémentaire à prendre en compte dans la conception des chambres du refuge.

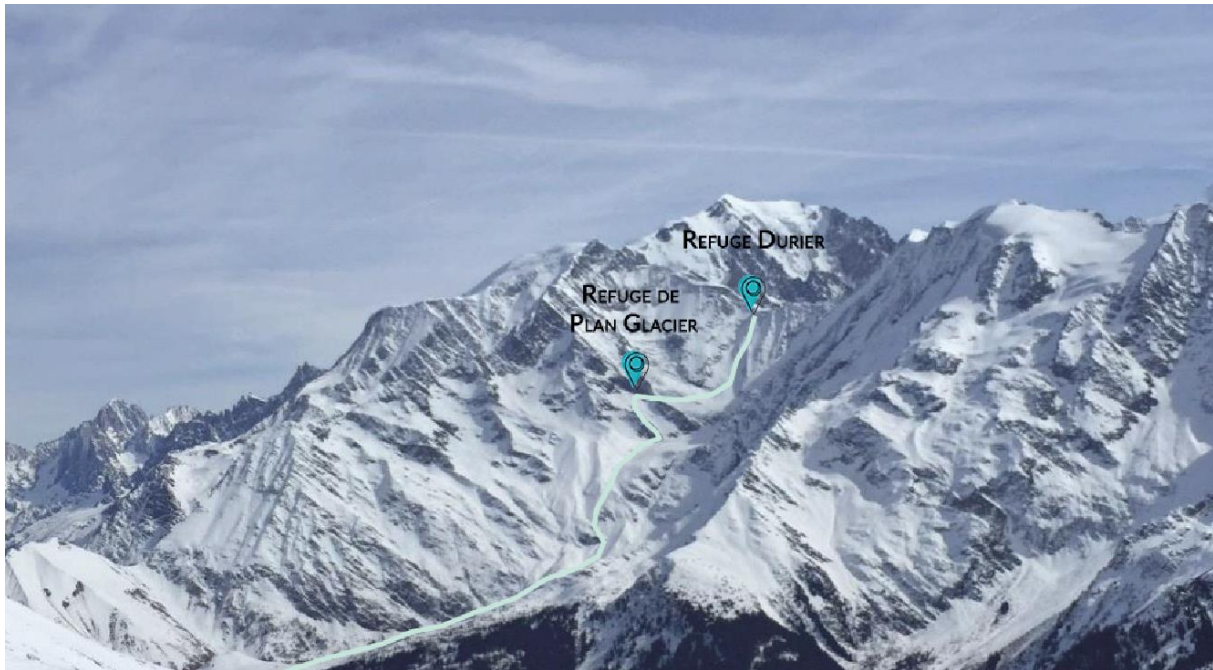


Figure 60 : Situation, vues et accès au refuge de Plan Glacier

Ce refuge sert aux alpinistes pour rejoindre le refuge Durier situé à 3367m d'altitude, et pour gravir la face nord des dômes de Miage. Mais les randonneurs aiment venir passer la nuit au refuge de Plan Glacier en réalisant un circuit au départ des Houches et à destination des Contamines ou de Saint-Gervais. Le site est ouvert de juin à octobre mais principalement fréquenté pendant les vacances estivales.



Aujourd'hui, le refuge, d'une surface d'environ 35 m<sup>2</sup>, dispose d'une cuisine, d'un coin repas, d'un dortoir, de 2 sanitaires et d'une terrasse. Ceci fait suite aux travaux réalisés par la commune en 2006. Ce projet de rénovation du refuge de Plan Glacier a été conçu par les intervenants suivants :

- \_ Gaston MULLER, architecte ;
- \_ Cabinet BOSSON, maître d'œuvre ;
- \_ Alpes Contrôles, contrôle technique.

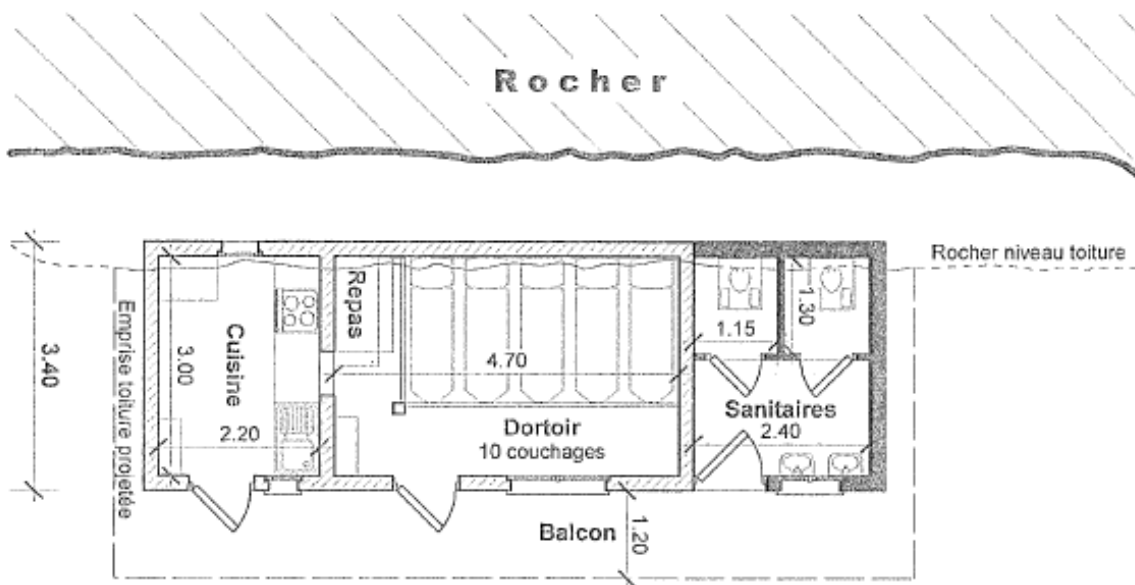


Figure 61 : Plan du projet réalisé de 2006

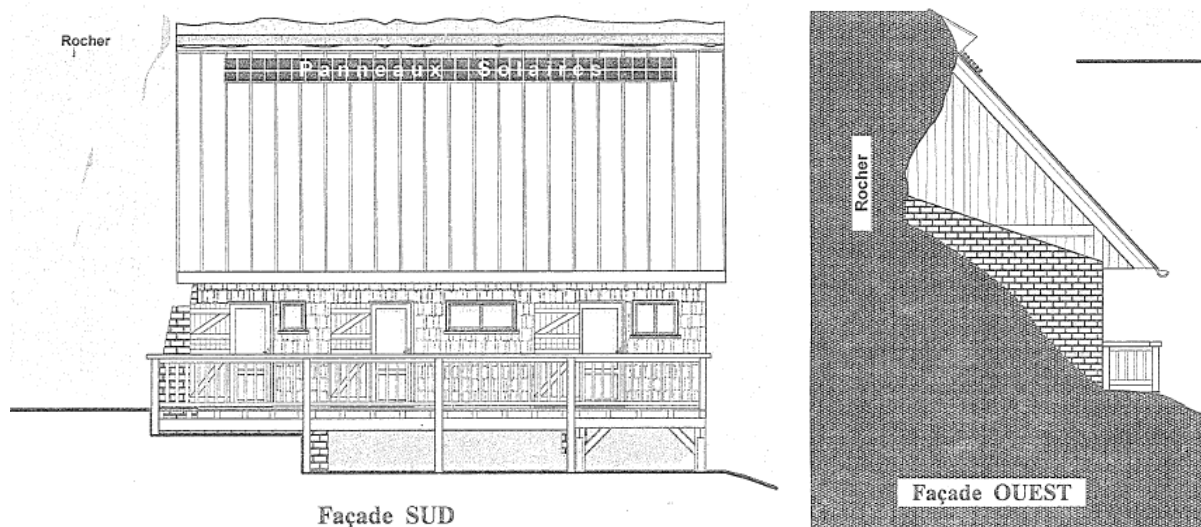


Figure 62 : Façade Sud et Ouest du projet réalisé de 2006



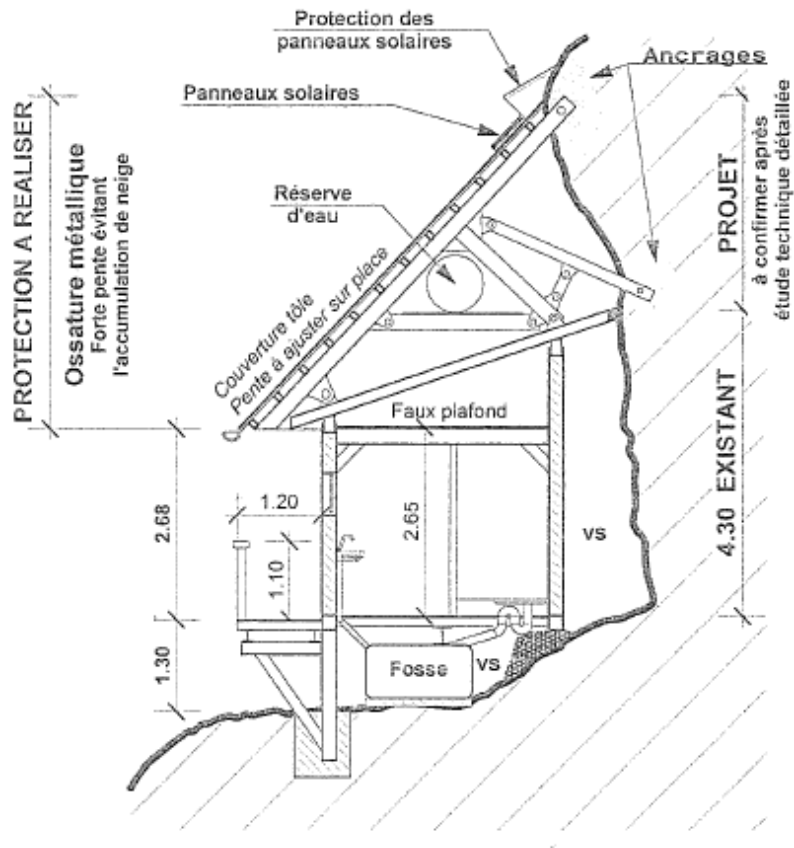


Figure 63 : Coupe transversale du projet de refuge réalisé en 2006

Durant mon analyse de site, j'ai pu entrer en contact avec le service urbanisme de la mairie et les gardiens du refuge de Plan Glacier des années précédentes. Il en résulte que les conditions de vie ne sont pas acceptables et que de nombreux problèmes d'humidités sont décelés. En effet, bien que des travaux de rénovations aient eu lieu en 2006, les conditions d'hébergement sont très rudimentaires. Ce refuge de 19 places n'a pas de douche, pas de système de récupération d'eau et pas de système de chauffage. Cela rend donc impossible de se réchauffer les jours de froid ou de pluie, et impossible pour les clients arrivés mouillés de sécher leurs affaires. De plus, la rénovation a été réalisée à moindre coût impliquant le mal fonctionnement de la partie sanitaire. Quant à l'électricité, seulement 2 panneaux solaires assurent une petite heure d'éclairage en fin de journée. De ce fait le refuge n'est pas complet tout au long de son ouverture. En particulier, la clientèle familiale prend juste une collation mais ne dort pas sur place. Un refuge avec un meilleur confort permettrait de satisfaire ce type de clientèle.

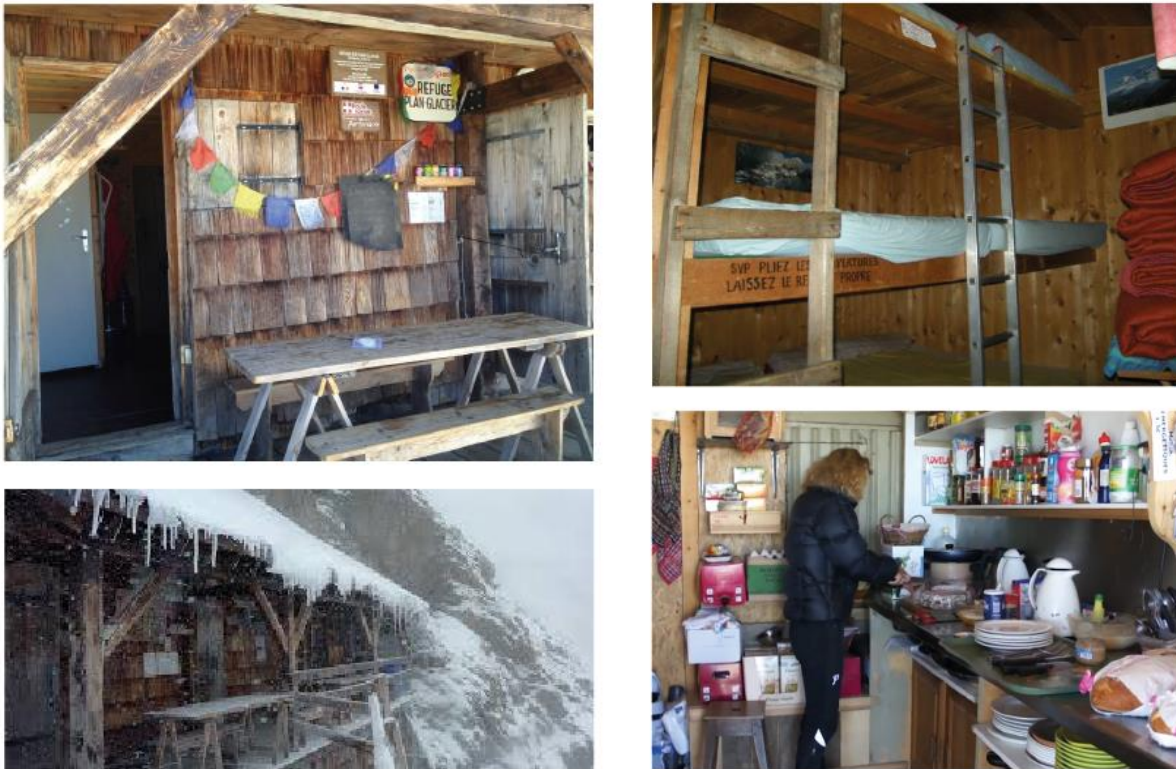


Figure 64 : Ambiances extérieure et intérieure du refuge de Plan Glacier

Un entretien avec le gardien de l'année 2018 m'a expliqué : « Avec un ancien gardien de Plan Glacier, nous avons coutume de dire entre nous que dormir à Plan Glacier c'est du one-shot, dans le sens où les clients qui en ont fait l'expérience n'y reviennent pas pour diverses raisons : manque de confort, froid, brouillard, etc. ». Il en est de même pour les gardiens saisonnier. Du fait des conditions d'exploitation rudes, le refuge est exposé à des changements fréquents de gardiens.

« Je fus le 12<sup>ème</sup> gardien en moins de 25 ans, et seulement le 4<sup>ème</sup> à faire plus de 2 saisons. Le tournus est donc très élevé et la fidélisation des gardiens compliquée en l'état actuel. »

Toutefois, le gardien note que l'aspect authentique, l'ambiance chalet de haute montagne sont des caractéristiques appréciés des alpinistes. En effet, le refuge en bois est situé au pied d'un rocher permettant de ne pas dénaturer le paysage et ainsi de profiter de la montagne dans un environnement préservé et calme.



Figure 65 : Photos des conditions dans le refuge prise en 2018 par le gardien

L'analyse m'a permis de comprendre les enjeux du site et surtout le potentiel de la voie Royale malgré un refuge de Plan Glacier en mauvais état. En effet, la fréquentation est d'environ 700 personnes par saison. L'objectif de mon projet est alors de créer un refuge qui soit plus confortable pour s'adapter à toutes les clientèles, à savoir, les alpinistes, les randonneurs et les familles. Ceci implique donc de travailler d'avantage les espaces et en particulier l'espace nuit, afin qu'il soit modulable. De plus, l'aspect technique d'autonomie en énergie et en eau seront des aspects majeurs du projet.



## 2. Programme du projet

Le nouveau refuge se veut de s'implanter au même endroit que l'ancien en augmentant le nombre de couchage de 19 à 30 lits ; Le programme du nouveau refuge de Plan Glacier est le suivant :

### \_ Espace accueil / vestiaire / gardien :

Accueil de 6m<sup>2</sup> ;

Bureau de 9m<sup>2</sup> ;

Vestiaire de 30 casiers pour 17m<sup>2</sup> ;

Circulation de 84 m<sup>2</sup>.

Logement d'une / deux personnes de 35m<sup>2</sup>.

### \_ Espace restauration :

Cuisine de 14m<sup>2</sup> ;

Espace de stockage de 15m<sup>2</sup> ;

Réfectoire de 35 places pour 50m<sup>2</sup> ;

Espace bar de 15 m<sup>2</sup>.

### \_ Espace technique :

Local extérieur de 10 m<sup>2</sup> ;

Local électrique de 12 m<sup>2</sup> ;

Local ventilation de 6 m<sup>2</sup> ;

Local traitement eaux vannes de 41 m<sup>2</sup> ;

Local traitement et stockage eau de 45 m<sup>2</sup>.

### \_ Espace salle d'eau :

Sanitaires (1 WC + 2 urinoirs) et douches (2 douches) homme de 19 m<sup>2</sup> ;

Sanitaires (2 WC) et douches (2 douches) femme de 19 m<sup>2</sup> ;

Serre de 54 m<sup>2</sup>.

### \_ Espace repos

10 dortoirs de 3 lits pouvant se connecter par deux pour 86m<sup>2</sup> ;

Espace de repos / salon de 50 m<sup>2</sup>.



Pour assurer l'autonomie du bâtiment, il faut installer une unité de traitement des eaux usées par séparation des eaux grises et des eaux vannes. Ces dernières sont directement traitées par compostage et alimentent la partie serre. Il sera nécessaire de mettre en place les dispositifs suivants : un réservoir de stockage d'eau de 20m<sup>3</sup>, un filtre à sable, un système de filtration et de microfiltration, et des ballons de mise sous pression.

Concernant l'autonomie en énergie, celle-ci est assurée par le moyen solaire. On trouve comme dispositifs : un onduleur électrique, des batteries, un local compteur électrique. Une VMC double flux avec un système de VPH (ventilation positive hygro régulé) assure la qualité de l'air dans le refuge.

Au total le refuge est de 590m<sup>2</sup> sur une surface au sol de 442m<sup>2</sup>. L'intégralité du refuge se situe en troglodyte. Il est largement éclairé par la façade vitrée en forme de griffe et longeant la courbe de niveau de la roche.

### 3. Concept du projet

Le projet s'inscrit en troglodyte dans la montagne. Le concept a été de creuser différents espaces représentant différentes fonctions. Chaque espace est séparé de l'autre par un bloc de roche, celui-ci jouant sur la thermique du bâtiment. Ainsi, le bâtiment se compose de modules en RDC allant jusqu'à un étage et un sous-sol.

Chaque module se connecte en façade par un couloir tampon totalement vitré. Ce couloir est habitable du fait de son dimensionnement et de son épaisseur au niveau du module chambre. Cet espace est donc à la fois un espace de circulation, un espace tampon thermique et un espace de vie et de repos permettant de contempler la vue dégagée sur la vallée. En effet, une pièce préfabriquée en bois de la forme d'une griffe se fixe en façade et assure le rôle hors d'eau et hors d'air. L'entre deux griffes est en verre.

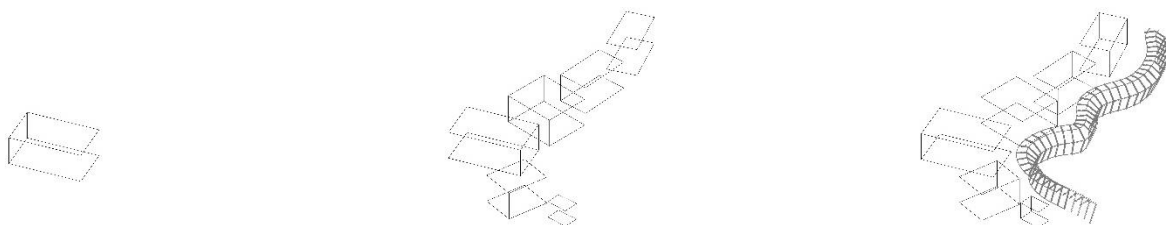


Figure 66 : Schéma conceptuel du projet de refuge



La répartition des fonctions dans les modules se fait de manière chronologique à l'entrée des alpinistes dans la griffe. Les deux premiers modules sont les espaces de vie, tandis que les deux derniers modules sont les espaces de repos. Le module du centre est un espace de salle d'eau connecté avec la serre du refuge.

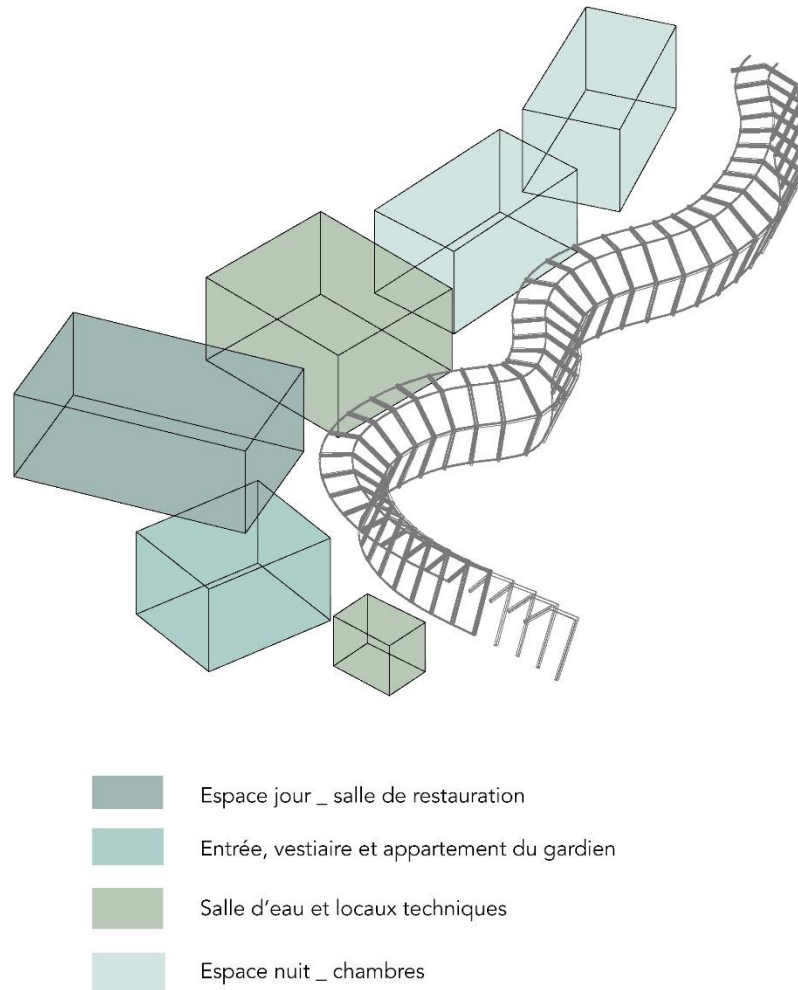


Figure 67 : Organisation et répartition des fonctions dans le bâtiment

L'espace nuit a été travaillé pour recevoir tout type de public. Pour ce faire, on retrouve des chambres de 3 lits superposés avec du rangements et un bureau. Les randonneurs venant en groupe ont la possibilité de transformer la chambre de 3 lits en un dortoir de 6 lits en ouvrant des parois mobiles. La flexibilité des chambres permet ainsi d'augmenter le confort du refuge. L'espace nuit s'étend dans l'espace tampon. Celui-ci s'épaissit au niveau des chambres permettant ainsi de créer un espace salon / repos. Cet espace calme offre la vue panoramique sur l'ensemble de la vallée.

## 4. Constructibilité

La construction du refuge est un point à prendre en considération dès la conception du projet. En effet, le type de matériaux et leur approvisionnement sur le site sont des enjeux importants dans la construction d'un bâtiment sur ce site atypique. D'après le diagnostic élaboré précédemment, l'utilisation de matériaux locaux et le plus proche du site sont des solutions à envisager. Le bois est un matériau biosourcé et largement présent dans la région de Haute Savoie. J'ai donc opté pour l'utilisation du bois pour l'ensemble de la structure du refuge.

Après avoir creusé dans la roche les différents vides, la structure bois vient s'y insérer. Cette structure sera acheminée sur site par hélicoptère et par animaux. Il faut 6 rotations d'hélicoptères et 10 allers-retours d'animaux pour l'acheminement d'un plancher. L'ensemble des plancher nécessite donc 84 rotations d'hélicoptères et 140 allers-retours d'animaux.

Celui-ci se compose de poutres en lamellé collé de 36 cm x 13 cm. Les poutres sont jointées par des solives de 25 cm x 7,5 cm. Les plaques OSB, fixé sur les tasseaux de 4,5 cm x 4,5 cm, forment des coffres entre les solives. Ces coffres sont remplis par de l'isolant en fibre de bois. Le tout est recouvert par des plaques OSB de 2,2 cm.

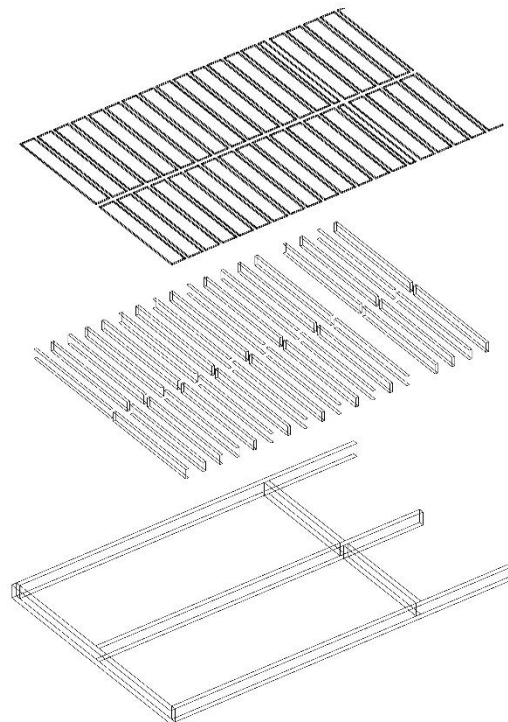


Figure 68 : Axonométrie de la structure d'un plancher

De même, les murs en périphérie du refuge reprennent les mêmes principes. Des poteaux bois de 25 cm x 4,5 cm espacés tous les 55 cm sont fixés à des lisses de chaînage supérieures et inférieures. L'ensemble est couvert par des plaques OSB de 2,2 cm d'épaisseur après avoir rempli les vides avec de l'isolant en fibre de bois. Les cloisons sont composées de plaques d'OSB de 1 cm, de poteaux bois de 4,5 cm x 7,5 cm et d'isolant en fibre de bois. L'ensemble de la structure est étanchéifié grâce à une film protecteur imperméable.

D'un point de vue planning, la réalisation du refuge se fera en trois saisons estivales. La première consiste à creuser les vides à l'aide de marteaux piqueurs pneumatiques. La seconde est la partie charnière de la réalisation. Elle correspond à la mise en place de la structure et de la façade griffe correspondant à la mise hors d'eau et hors d'air. La troisième saison représente l'acheminement des systèmes et l'aménagement de l'intérieur du refuge. Les travaux nécessiteront l'intervention de plusieurs corps de métier sur place et de personnes en charge de l'acheminement des matériaux et des vivres sur le site.

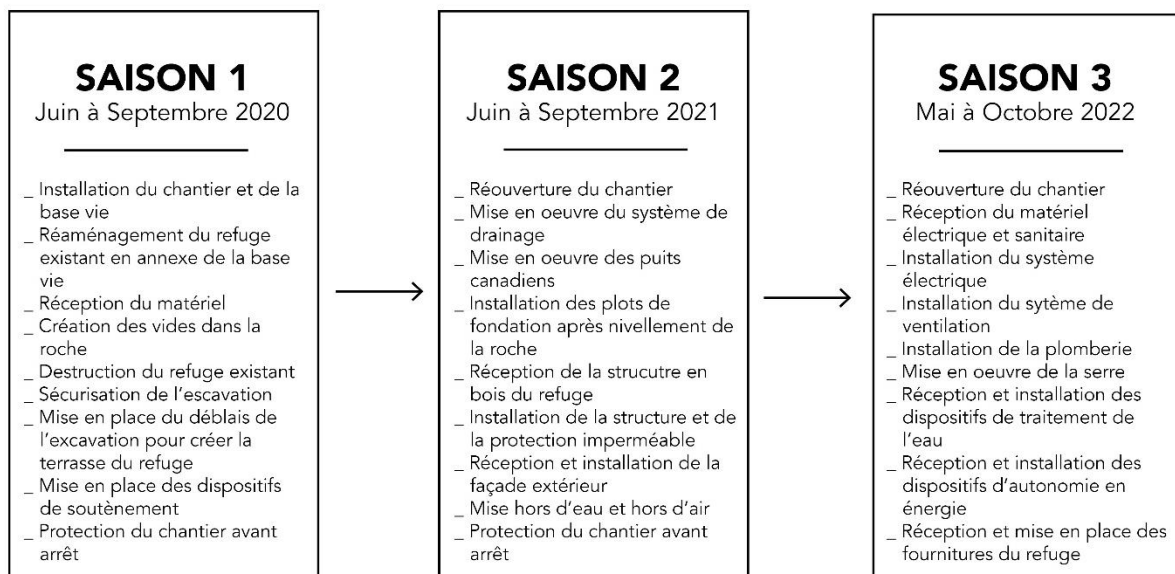


Figure 69 : Planning prévisionnel des travaux

## 5. Aspects énergétiques et d'autonomie

L'aspect énergétique est un élément important du refuge. Etant donné l'orientation Sud-Ouest du projet, j'ai opté pour un système de panneaux solaires et de batteries pour stocker l'énergie. Du fait de la conception bioclimatique comprenant un jardin d'hiver, la verrière permet de chauffer le refuge de façon passive. La présence de la roche permet d'emmagasiner la chaleur pour la diffuser la nuit. L'apport supplémentaire de chaleur est assuré par un poêle à granule situé dans la salle à manger. L'harmonisation de la température dans les différents modules est permise par l'installation d'une ventilation mécanique contrôlée à double flux.

Un système de puits canadien sera mis en place pour assurer la ventilation dans le refuge en été. L'air neuf sera préchauffé dans la roche et diffusé par l'arrière du bâtiment. L'air vicié s'échappera par une ouverture dans la partie haute de la façade. Ce système est valable en été lors de la plus grande fréquentation de la clientèle dans le refuge.

Concernant l'autonomie en eau, le sujet est abordé dans le dossier « optionnel recherche » suite à mon mémoire de recherche soutenu au premier semestre 2019 : « optimisation de la gestion de l'eau dans un bâtiment de logements afin d'économiser sa ressource ». Les schémas de principe, le prédimensionnement des dispositifs et le choix des systèmes sont exposés dans ce dossier.

Ci-dessous est présenté le schéma général de fonctionnement du cycle domestique de l'eau dans le refuge. Il faut savoir que les quantités d'eau ne sont pas abondantes à cette altitude. Pour récupérer de l'eau, il faut mettre en place un système de fondoir pour transformer la neige en pluie. Un appoint constant de récupération d'eau est le déshumidificateur d'air. En effet, l'architecture troglodyte a pour principale problématique l'humidité trop élevée de l'air à l'intérieur du bâtiment. Cette solution de déshumidification permet à la fois de rendre l'air intérieur plus sain et de récupérer de l'eau. Ce dispositif permet de générer une quantité d'eau constante et quotidienne d'environ 30 L pour 100 m<sup>2</sup> lorsque l'humidité de l'air avoisine les 70-80 %.





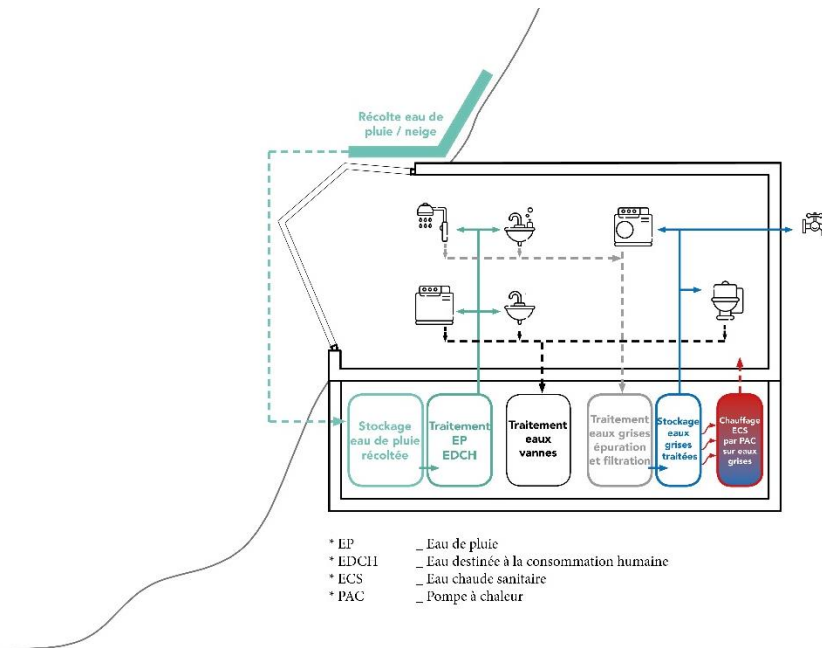


Figure 70 : Organisation générale du cycle domestique de l'eau dans le refuge

La gestion des déchets organique et des excréments humains sont assurés par les systèmes de lombrifiltration et de compostage. Un serre est directement connectée à la salle d'eau par le niveau inférieur. Cela permet de connecter le système avec les plantations pour la mise en oeuvre de système type compostage ou lombrifiltration et permet de valoriser les excréments et de préserver les grands cycles naturels de l'azote, du phosphore, du carbone et de l'eau. Les déchets du refuge sont alors gérés localement.

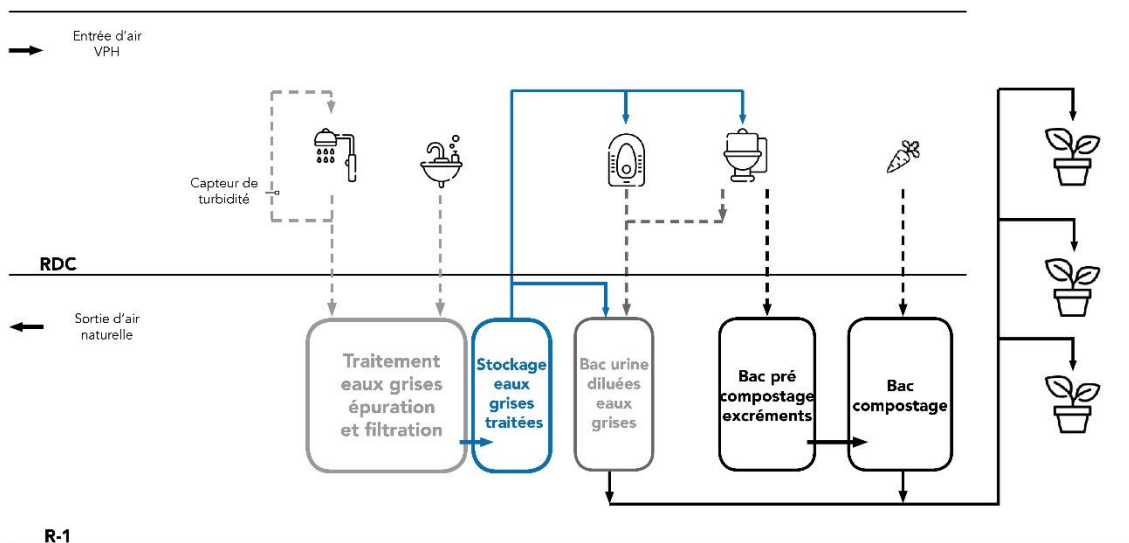


Figure 71 : Schéma du traitement de l'eau dans la pièce d'eau (douches + sanitaires)