Hes·so VALAIS WALLIS
Haute Ecole d'Ingénierie
Hochschule für Ingenieurwissenschaften

Hes·so

Filière Energie et techniques environnementales

Orientation Energies renouvelables

Travail de bachelor
Diplôme 2023

Tristan de Andrea

Analyse de cycle de vie d'une cabane

Professeur
Frédéric Revaz

Expert
Michelle Stirnimann

Date de la remise du rapport
18.08.2023

HES-SO Valais-Wallis • rue de l'Industrie 23 • 1950 Sion
+41 58 606 85 23 • hei@hevs.ch • www.hevs.ch/hei

swissuniversities
EQUAL-SALARY CERTIFIED
Valais excellence

Ce rapport est l'original remis par l'étudiant.
Il n'a pas été corrigé et peut donc contenir des inexactitudes ou des erreurs.

HES-SO Valais

SYND	ETE	TEVI
X	X	X

Données du travail de diplôme
Aufgabenstellung der Bachelorarbeit

FO 1.2.02.07.EB
che/31/05/2021

Filière / Studiengang **ETE**	Année académique / *Studienjahr* **2022-23**	No TB / *Nr. BA* **ER/2023/50**
Mandant / *Auftraggeber* ☒ HES—SO Valais ☐ Industrie ☐ Etablissement partenaire *Partnerinstitution*	Etudiant / *Student* **Tristan De Andrea** Professeur / *Dozent* **Frédéric Revaz**	Lieu d'exécution / *Ausführungsort* ☒ HES—SO Valais ☐ Industrie ☐ Etablissement partenaire *Partnerinstitution*
Travail confidentiel / *vertrauliche Arbeit* ☐ oui / ja ☒ non / nein	Expert / *Experte (données complètes)* **Michelle Stirnimann, CAS, Monbijoustrasse 61, 3000 Bern 14**	

Titre / *Titel*

Hut LCA assessment

Description / *Beschreibung*

La stratégie climatique du Club Alpin Suisse (CAS) est, entre autres, de rendre l'exploitation de 50 % des cabanes climatiquement neutres. Pour le faire, un projet pilote « Bilan CO2 des cabanes » est actuellement conduit. Le CAS souhaite également poser les bases pour aller plus loin dans ce domaine et effectuer une analyse complète de cycle de vie.

Objectifs / *Ziele*

— Détermination d'une cabane à analyser, prise de contact et récupération de la documentation.
— Détermination de la méthode d'analyse et du périmètre en tenant compte des exigences du projet et des besoins du CAS.
— Analyse du cycle de vie de la cabane.
— Propositions d'améliorations pratiques et réalisables pour la cabane en particulier.
— Elaboration de propositions d'amélioration pour l'ensemble des cabanes (cahier de solutions).

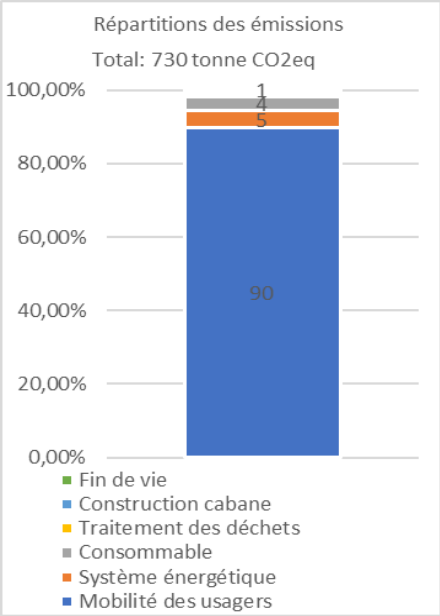
Signature ou visa / *Unterschrift oder Visum*	Délais / *Termine*
Responsable de l'orientation / *Leiter der Vertiefungsrichtung:*	Attribution du thème / *Ausgabe des Auftrags:* **15.05.2023**
[1] Etudiant / Student :	Présentation intermédiaire / *Zwischenpräsentation*: **19 – 20.06.2023**
	Remise du rapport final / *Abgabe des Schlussberichts:* **18.08.2023**
	Expositions / *Ausstellungen der Diplomarbeiten:* **25.08.2023** – HEI **28.08.2023** – Monthey **31.08.2023** – Visp
	Défense orale / *Mündliche Verfechtung:* **Semaine/Woche 35-36 (01-07.09.2023)**

[1] *Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive DI.1.2.02.07 liée au travail de diplôme.*
Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der/die Student/in, sich an die Richtlinie DI.1.2.02.07 der Diplomarbeit zu halten.

Rapport reçu le / *Schlussbericht erhalten am* ..... Visa du secrétariat / *Visum des Sekretariats* .....

Hes·so VALAIS WALLIS

Haute Ecole d'Ingénierie
Hochschule für Ingenieurwissenschaften



Analyse de cycle de vie d'une cabane

Diplômant/e Tristan de Andrea

Objectif du projet

Réaliser l'analyse du cycle de vie d'une cabane de montagne en accord avec les exigences du CAS. Formuler des suggestions d'amélioration pour cette cabane spécifique ainsi que pour l'ensemble des cabanes dans une approche globale.

Méthodes | Expériences | Résultats

Le projet a débuté en sélectionnant la cabane. Le choix porté sur la cabane des Dix. Ensuite, les objectifs et les paramètres de l'étude ont été définis. Dans notre cas, nous avons entrepris l'analyse du cycle de vie de la cabane depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie.

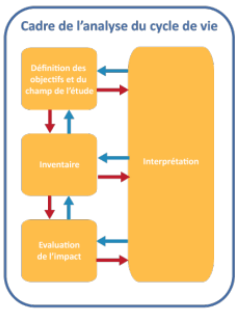
Les étapes suivantes ont impliqué la collecte de données, leur traitement et leur mise à l'échelle pour établir un inventaire du cycle de vie. Une fois cet inventaire établi, il a été possible d'évaluer les impacts environnementaux potentiels qui ont été analysé à la dernière étape du processus.

Les résultats mettent en évidence que le transport effectué par les utilisateurs a été l'impact le plus significatif sur l'environnement, représentant jusqu'à 90% des émissions totales. Toutefois, les autres facteurs ne doivent pas être négligés, car ils ont généré l'équivalent de 75 tonnes de CO2.

Des scénarios de propositions sont présentés pour réduire les émissions directes de la cabane jusqu'à six fois, en utilisant des solutions techniquement et économiquement réalisables.



Ci-dessus une image de la cabane des Dix, étudiée dans ce rapport
Source : *Phillipe de Kalbermatten*



Ci-dessus une représentation des différentes étapes du cycle de vie.
Source : *Université Valence*

Travail de diplôme
| édition 2023 |

Filière
Energie et techniques environnementales

Domaine d'application
Energies renouvelables

Professeur responsable
Frédéric Revaz
frederic.revaz@hevs.ch

Manuele Margni
Manuele.margni@hevs.ch

REMERCIEMENT

J’aimerais tout d’abord remercier Frédéric Revaz pour m'avoir donné l’opportunité de travailler sur ce projet et pour avoir répondu à toutes mes questions.

Je souhaite également remercier Manuele Margni et Tristan Debonnet pour leur précieuse assistance lors de l'analyse du cycle de vie et de la modélisation.

Mes remerciements s'étendent à toutes les personnes qui ont contribué à ce projet, en particulier Yanessandre de Andrea et Camille Kolly pour leur relecture attentive de cette étude.

TABLE DES MATIÈRES

Intégration à la durabilité ..... - 7 -

1 Introduction ..... - 8 -

1.1 Contexte de l'étude ..... - 8 -

1.1.1 Cas de la cabane des Dix ..... - 8 -

1.1.2 Fonctionnement d'une cabane de montagne ..... - 9 -

1.2 Problématiques environnementales associées ..... - 10 -

2 Objectifs et méthodologie ..... - 13 -

2.1 Définition ..... - 13 -

2.2 Méthodologie ..... - 13 -

3 Objectifs et champ de l'étude ..... - 15 -

3.1 Raisons de l'étude ..... - 15 -

3.2 Application envisagée de l'étude ..... - 15 -

3.2.1 Choix des bases de données ..... - 15 -

3.3 Public concerné ..... - 15 -

3.4 Description de la cabane ..... - 16 -

3.4.1 Construction et composition de la cabane ..... - 16 -

3.4.2 Système énergétique ..... - 16 -

3.4.3 Consommable ..... - 17 -

3.4.4 Approvisionnement de la cabane ..... - 17 -

3.4.5 Déchets ..... - 17 -

3.5 Fonction et unité fonctionnelle de la cabane étudiée ..... - 17 -

3.6 arbre de processus ..... - 18 -

3.7 Définition des facteurs d'impacts ..... - 19 -

3.7.1 Changement climatique ..... - 19 -

3.7.2 Atteinte à la santé ..... - 19 -

3.7.3 Qualité des écosystèmes ..... - 19 -
3.8 Frontière système ..... - 19 -
3.9 Processus multifonctionnel ..... - 20 -
4 Inventaire et impacts du cycle de vie ..... - 21 -
4.1 Collecte de données primaires et mise à l'échelle de l'unité fonctionnelle ..... - 21 -
4.1.1 Construction ..... - 21 -
4.1.2 Utilisation ..... - 21 -
4.1.3 Fin de vie ..... - 24 -
4.2 Calcul de l'inventaire du cycle de vie et facteurs d'impact ..... - 25 -
4.2.1 Construction ..... - 25 -
4.2.2 Utilisation ..... - 26 -
4.2.3 Fin de vie ..... - 37 -
5 Evaluations des impacts du cycle de vie ..... - 39 -
5.1 Analyse des résultats globaux ..... - 39 -
5.2 Analyse de la phase de construction ..... - 40 -
5.3 Analyse de la consommation d'énergie ..... - 42 -
5.4 Analyse de la consommation de Nourriture et de boissons ..... - 44 -
5.4.1 Nourriture ..... - 45 -
5.4.2 Boissons ..... - 47 -
5.5 Déchets ..... - 48 -
5.6 Mobilité ..... - 50 -
6 Suggestions d'améliorations ..... - 53 -
6.1 Construction ..... - 53 -
6.2 Utilisation ..... - 53 -
6.2.1 Energie ..... - 53 -
6.2.2 Nourriture ..... - 54 -
6.2.3 Boissons ..... - 56 -

6.2.4 Déchets ..... - 57 -
6.2.5 Mobilité ..... - 57 -
6.2.6 Ravitaillement ..... - 59 -
6.3 Synthèses des recommandations ..... - 60 -
6.4 Suggestion pour les cabanes en générales ..... - 62 -
7 Interprétations des résultats ..... - 63 -
7.1 Incertitude et limites de l'études ..... - 63 -
7.2 Perspective d'améliorations de l'étude ..... - 64 -
8 Conclusion ..... - 65 -
9 Bibliographie ..... - 67 -
10 Annexes ..... - 71 -

TABLE DES FIGURES

Figure 1: structure de l'ACV en quatre phase (Margni, s. d.) ..... - 14 -
Figure 2: Représentation du système énergétique 2015 de la cabane des Dix (De Kalbermatten Philippe et al., 2016) ..... - 16 -
Figure 3: Représentation de l'arbre des processus ..... - 18 -
Figure 4: Comparaisons de tous les processus en fonction des différents impacts environnementaux ..... - 39 -
Figure 5: Comparaison du processus de construction et fin de vie en fonction des différents impacts environnementaux ..... - 40 -
Figure 6: Analyses des impacts environnementaux du processus « énergie » ..... - 42 -
Figure 7: Comparaison de la production énergétique et des impacts environnementaux en fonctions des sources ..... - 43 -
Figure 8: Comparaison du processus nourriture et boisson en fonction de leur masse et GES ..- 44 -
Figure 9: Analyses des impacts environnementaux du processus « nourriture » ..... - 45 -
Figure 10: Analyses des impacts environnementaux liés aux produits carnés ..... - 46 -
Figure 11: Analyses des impacts environnementaux liés aux produits laitiers ..... - 47 -

Figure 12: Analyses des impacts environnementaux du processus « Boissons » ..... - 48 -
Figure 13: Comparaison du traitement des déchets entre la cabane des Dix et la cabane d'Arpittetaz ..... - 49 -
Figure 14: Analyses des impacts environnementaux du processus « Mobilité » ..... - 50 -
Figure 15: Comparaison de la mobilié et des impacts environnementaux en fonctions de la provenance des touristes ..... - 51 -
Figure 16: Représentations des GES par personne en fonction de la provenance des touristes .- 52 -
Figure 17: Comparaison des émissions de GES entre le cas actuel des Dix et les suggestions proposées ..... - 60 -
Figure 18: Représentation de la faisabilité des suggestions en fonction du CO2 économisé et du CAPEX ..... - 61 -

TABLES DES ÉQUATIONS

Equation 1: Equations mise à l'échelle "construction" ..... - 25 -
Equation 2: Equations mise à l'échelle "Panneaux solaires" ..... - 26 -
Equation 3: Equations mise à l'échelle "Batterie" ..... - 27 -
Equation 4: Equations mise à l'échelle "Diesel" ..... - 29 -
Equation 5: Equations mise à l'échelle "Boissons" ..... - 33 -
Equation 6: Equations mise à l'échelle "Transport public" ..... - 34 -
Equation 7: Equations mise à l'échelle "Transport privé" ..... - 35 -
Equation 8: Equations mise à l'échelle "Déchets" ..... - 36 -
Equation 9: Equations mise à l'échelle "Fin de vie" ..... - 37 -

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 1: Paramètre clés Mobilité des usagers ..... - 24 -
Tableau 2: Les flux de références à l'échelles Construction et production cabane ..... - 25 -
Tableau 3: Les flux de références à l'échelles Panneaux solaire ..... - 26 -
Tableau 4: Les flux de références à l'échelles Batterie ..... - 27 -
Tableau 5: Les flux de références à l'échelles Génératrice ..... - 28 -
Tableau 6: Les flux de références à l'échelles Gaz ..... - 28 -
Tableau 7: Les flux de références à l'échelles Diesel ..... - 29 -
Tableau 8: Les flux de références à l'échelles Diesel ..... - 30 -
Tableau 9: Les flux de références à l'échelles Produit laitier ..... - 31 -
Tableau 10: Les flux de références à l'échelles légumes et fruits ..... - 31 -
Tableau 11: Les flux de références à l'échelles Féculent ..... - 32 -
Tableau 12: Les flux de références à l'échelles Autre ..... - 32 -
Tableau 13: Les flux de références à l'échelles Boissons ..... - 33 -
Tableau 14: Les flux de références à l'échelles Transport Public ..... - 34 -
Tableau 15: Les flux de références à l'échelles Transport Privé ..... - 35 -
Tableau 16: Les flux de références à l'échelles Transport Autre ..... - 36 -
Tableau 17: Les flux de références à l'échelles Traitement déchets ..... - 36 -
Tableau 18: Les flux de références à l'échelles Fin de vie ..... - 37 -
Tableau 19: Synthèse des résultats pour les suggestions d'améliorations énergétique ..... - 54 -
Tableau 20: Synthèse des résultats pour une suggestion d'amélioration de la consommation de viande ..... - 55 -
Tableau 21: Synthèse des résultats pour une suggestion d'amélioration de la consommation de boissons ..... - 57 -
Tableau 22: Synthèse des résultats pour une suggestion d'amélioration sur la mobilité des usagers ..... - 58 -
Tableau 23: Evaluation de la qualité des données ..... - 63 -

INTÉGRATION À LA DURABILITÉ

Une étude sur l'analyse du cycle de vie d'une cabane de montagne peut contribuer de manière significative à la réalisation des objectifs de durabilité de l'ONU, notamment ceux définis dans les Objectifs de Développement Durable (ODD). Voici comment une telle étude pourrait répondre à ces objectifs :

Objectif 9 : Industrie, innovation et infrastructure - L'étude peut identifier des méthodes de construction et de gestion innovantes et durables pour la cabane, favorisant le développement de nouvelles infrastructures respectueuses de l'environnement et pouvant potentiellement être utilisées dans d'autres projets.

Objectif 12 : Consommation et production responsables - L'analyse du cycle de vie peut mettre en évidence les étapes du processus de fabrication de la cabane qui ont les plus grands impacts environnementaux, ce qui pourrait encourager une conception et une production plus responsables, ainsi que la réduction des déchets et de la consommation de ressources.
Objectif 13 : Lutte contre les changements climatiques - L'étude peut quantifier les émissions de gaz à effet de serre tout au long du cycle de vie de la cabane, de la production des matériaux à sa démolition. Ces informations peuvent aider à mettre en place des stratégies pour réduire ces émissions et atténuer les effets du changement climatique.

En résumé, une étude sur l'analyse du cycle de vie d'une cabane de montagne peut contribuer à plusieurs objectifs de durabilité des Nations Unies en réduisant l'empreinte environnementale et favoriser la prise de décision pour des projets respectueux de l’environnement.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Le Club Alpin Suisse occupe une position prépondérante dans la promotion de l'alpinisme en Suisse. Il joue un rôle significatif dans le développement des environnements montagneux et adhère à la promotion d'une pratique responsable des activités sportives en montagne. Fondé il y a plus de 150 ans, ce club compte actuellement 147 refuges ouverts au public. Il a enregistré plus de 370 000 nuitées en 2022.

L'évolution des technologies renouvelables ouvre la voie à la transformation de ces refuges avec installations plus respectueuses de l'environnement et une réduction notable des émissions de polluants.

En 2021, une stratégie climatique a été mise en œuvre en vue de neutraliser complètement les émissions de gaz à effet de serre en Suisse d'ici 2050. Le pays est particulièrement vulnérable aux effets des changements climatiques, avec des augmentations de température deux fois supérieures à la moyenne mondiale. Par conséquent, des mesures stratégiques ont été instaurées dans divers secteurs (au niveau des transports, bâtiments et industries) afin de répondre à ce défi (Le Conseil fédéral, 2021).

1.1.1 Cas de la cabane des Dix

La section Monte Rosa du CAS, par son représentant M.Revaz s'intéresse à comprendre quelle est l'empreinte environnementale des cabanes alpines et les postes principaux pour développer des stratégies de mitigations des GES. La cabane des Dix a été sélectionnée comme étude de cas en raison de la facilité d'accès aux données et de la possibilité de poursuivre l'étude en interne.

La section CAS implantée à Sion gère également d'autres refuges, mais la Cabane des Dix se distingue par son emplacement sur la célèbre route reliant Zermatt et Chamonix, pour son itinéraire montagneux. Elle fait aussi partie du parcours de la course de la Patrouille des Glaciers et est entourée de sommets emblématiques de l'alpinisme comme le Mont Blanc de Cheillon. Grâce à la proximité de multiples itinéraires, la cabane des Dix accueille plus 5000 nuitées par année. Elle est donc l'une des cabanes les plus fréquentées de Suisse. En outre, ce refuge est aussi bien utilisé en hiver qu'en été.

Cette cabane est située au-dessus du Lac des Dix et du barrage de la Grande Dixence. Elle a vu le jour à la suite d'un déplacement d'une ancienne cabane en 1908. Dans les années 1980, elle a subi une transformation. En 2017, la section Monte Rosa a voté en faveur d'une rénovation visant à accroître son indépendance énergétique.

En 2018, la section Monte Rosa avait initié un projet pilote visant à rendre la cabane autonome en énergie en explorant l'utilisation de la technologie à base d'hydrogène. Bien que le comité ait renoncé au projet en 2019, ce projet reste un scénario intéressant à étudier pour une éventuelle réduction de l'empreinte carbone des refuges.

Le projet H20 avait pour objectifs d'augmenter la capacité des panneaux solaires pour la production d'électricité et d'ajouter une pile à combustible pour le stockage d'énergie. Les particularités de cette cabane en font un sujet pertinent pour cette étude.

La cabane est ouverte et gérée par une équipe pendant la saison d'hiver, de mi-mars à début mai, ainsi que pendant la saison d'été, de mi-juin à fin septembre. Durant ces périodes, les 109 lits de la cabane sont exploitables et différents services comme la restauration et la demi-pension sont proposés. Lorsque la cabane n'est pas gardée, seule une salle de secours dotée de quelques lits et d'un système de chauffage sont mis à disposition.

1.1.2 Fonctionnement d'une cabane de montagne

Les différentes sections du CAS varient en taille et les quelque 150 cabanes de montagne appartenant au club sont en réalité sous la responsabilité des différentes sections. Dans le cas de la Cabane des Dix, elle relève de la Section Monte Rosa basée à Sion. Cette section gère également quatre autres cabanes : la Cabane de Monte Rosa, la Cabane de Schönbiel, la Cabane des Vignettes, la Cabane de Topali, ainsi que le bivouac du Laggin.

Le gardien de la cabane est un locataire et pour chaque nuitée passée, une somme est reversée au club. Le gardien tire ses revenus d'une commission prélevée sur les demi-pensions, tandis que le Club Alpin Suisse perçoit un pourcentage convenu. Étant donné que le club est propriétaire, c'est à lui de financer les travaux de rénovation et d'amélioration. Néanmoins, tout ce qui est nécessaire au fonctionnement quotidien de la cabane – nourriture, énergie, transport en hélicoptère – est géré par le gardien.

Le système économique fonctionne donc en deux étapes : la section investit dans la cabane et cet investissement est rentabilisé par le gardien qui assure la gestion quotidienne de la cabane.

1.2 PROBLÉMATIQUES ENVIRONNEMENTALES ASSOCIÉES

Les 370 000 nuitées enregistrées dans l'ensemble des cabanes du CAS témoignent de l'utilisation intensive des cabanes(Club Alpin Suisse CAS, 2023). Une mauvaise gestion de ces installations pourrait engendrer diverses répercussions sur l'environnement, telles que la pollution des sols et la perturbation de l'écosystème(Andrée-Marie Dussault, 2020).

La majorité de ces refuges dépendent des énergies fossiles pour leur alimentation en électricité et en chaleur, ainsi que du transport aérien pour acheminer ces sources d'énergie et les provisions alimentaires. Cela peut être une source importante d'émissions dans le bilan carbone de la cabane. Cependant, l'avancée des énergies renouvelables, notamment les panneaux photovoltaïques, offre des opportunités pour approvisionner les cabanes de manière plus durable (Berne, 2021).

En somme, la question environnementale associée aux cabanes de montagne souligne l'importance d'une gestion efficace et de l'adoption de pratiques durables pour atténuer ces impacts. Des études sur l'empreinte environnementale de refuge similaire ont déjà été établies.

En 1996, une première étude d'analyse du cycle de vie a été conduite à la Cabane de Tschierva. Florian Hug-Iten a recueilli des données détaillées concernant les flux d'énergie et de matières et les besoins énergétiques de la cabane (Hug, 2019). Ses résultats révèlent que la cabane requiert environ 12 kWh d'énergie par nuitée, dont 51 % proviennent de sources renouvelables et 49 % d'énergies fossiles. Des améliorations envisageables incluent l'augmentation de la production d'énergie solaire, l'optimisation de l'efficacité du fourneau de cuisine et la réduction des vols en hélicoptère pour le transport. L'étude souligne aussi l'importance des choix du transport des alpinistes, suggérant des incitations pour privilégier les voyages en transports publics.
L'étude souligne aussi l'importance du mode de transport des alpinistes fréquentant la cabane, en proposant des solutions pour privilégier les transports publics (Hug, 2019).

En 2022, un projet pilote concernant les émissions de CO2 de neuf cabanes a été examiné. Une nuitée en cabane produit environ 4,6kg d'équivalent CO2 (Club Alpin Suisse (CAS), 2023). Celui-ci démontre des variations en fonction de l'emplacement, de l'offre et du type d'exploitation. L'approvisionnement et la restauration ont été identifiés étant les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre dans toutes les cabanes analysées.

Les résultats d'une des neuf cabanes sont présents à titre d'exemple dans les documents annexes, ils démontrent que la cabane a généré 10'991kg de co2 équivalent. Les principales sources d'émissions est l'approvisionnement de la cabane (70%), la restauration (21%), l'énergie (4%) et d'autres éléments divers (5%).

En somme, les activités liées à l'énergie, au ravitaillement des cabanes ainsi que la restauration sont identifiées comme les plus impactantes d'un point de vue environnementale.
Cette étude adopte une vision suffisamment holistique intégrant l'ensemble des activités citées dans les différentes études et des indicateurs environnementaux autre que les gaz à effets de serres (GES).

2 OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

L'objectif de cette étude réalisée dans le cadre d'un projet de Bachelor est de mener une analyse du cycle de vie d'une cabane de montagne en Suisse. Ainsi que de formuler des recommandations en vue d'améliorer cette cabane et celles que possèdent le club alpin.

2.1 DÉFINITION

L'analyse de cycle de vie est apparue dans les 1970, c'est une méthode d'évaluation qui inclue uniquement le fonctionnement dit normal d'un système étudié. L'ACV ne prends pas en compte l'aspect économique, social et l'aspect des risques. Il y a chaque fois une déclinaison et des méthodes différentes pour traiter ces différents aspects. Elle a pour objectif de quantifier l'impact qu'elle a sur l'environnement.

2.2 MÉTHODOLOGIE

L'ACV est normalisé par la norme ISO 14040 et ISO 14044 qui permet de réaliser un bilan environnemental de manière procédurale, cette étude suit dans cette norme qui décrit la procédure nécessaire pour faire une étude d'ACV.

Cette structure comprend une première phase d'élaboration des objectifs et du champ de l'étude, puis une phase d'inventaire et finalement une phase d'évaluation des impacts. Tout au long de ces étapes, une phase d'interprétation est nécessaire.
Pour quantifier l'impact environnemental, une collecte de données primaires spécifiques à la cabane doit être effectuée dans un premier temps. Elles représentent au mieux les caractéristiques de la cabane et elles sont basées sur des mesures réelles. Ensuite, des données génériques proviennent de la base de données Ecoinvent. Celles-ci permettent de reconstruire les émissions et les impacts de l'ensemble de la chaine.

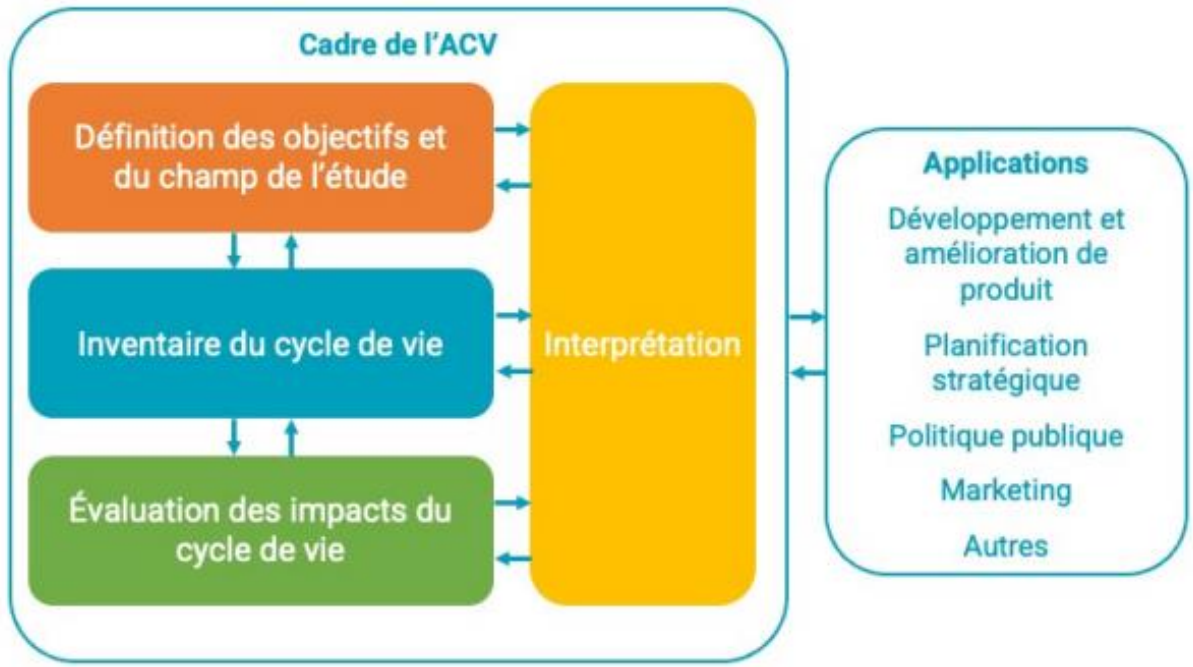


Figure 1: structure de l'ACV en quatre phase (Margni, s. d.)

Des normes plus spécifiques portent sur l'application des ACV aux ouvrages de construction. Notamment la norme NF EN 15978 donne des lignes directrices pour structurer un bâtiment en différentes étapes du cycle de vie comme décrit dans Annexe: 1.

3 OBJECTIFS ET CHAMP DE L'ÉTUDE

3.1 RAISONS DE L'ÉTUDE

Le Club Alpin Suisse (CAS) s'est engagé à atteindre la neutralité carbone d'ici 2040 dans sa stratégie climatique, en mettant l'accent sur l'exploitation durable des cabanes et en baissant de 50% les émissions de co2 d'ici 2030.

3.2 APPLICATION ENVISAGÉE DE L'ÉTUDE

Cette analyse du cycle de vie a pour objectif de mesurer l'impact d'une cabane de montagne sur l'environnement.

Cette étude vise à aider à la prise de décision concernant toutes les améliorations nécessaires pour la cabane des Dix. De plus, ses résultats seront aussi utiles pour les différentes cabanes du club alpin. Par ce fait, il pourra atteindre ces objectifs.

3.2.1 Choix des bases de données

Ecoinvent est une association à but non lucratif basée à Zurich. Avec plus de 20 ans d'expérience dans les données d'inventaire de cycle de vie (LCI), elle détient une base de données comprenant plus de 18 000 ensembles de données d'inventaire de cycle de vie fiables. En tant que leader mondial dans ce domaine, cette base de données est parfaitement adaptée à cette étude.

En ce qui concerne la nourriture et les boissons, la base de données Agribalise a été utilisée. C'est une référence en matière d'inventaire de cycle de vie pour les produits agricoles et agroalimentaires français et est couramment utilisée pour les études de cycle de vie de l'alimentation en France. Cette base de données s'avère être une excellente complémentarité à Ecoinvent, d'autant plus que les cadres français et suisses présentent des similitudes.

3.3 PUBLIC CONCERNÉ

Le public cible de cette étude est principalement constitué des membres du Club Alpin Suisse (CAS). Ces résultats pourront aussi être une aide d'information et de sensibilisation pour tout randonneur souhaitant se rendre ou s'informer sur les cabanes de montagnes.

3.4 DESCRIPTION DE LA CABANE

3.4.1 Construction et composition de la cabane

La cabane est une construction ancienne avec une surface de plus de 450m^2, répartie sur plusieurs étages. Elle est essentiellement composée de pierre et de bois, l'isolation n'est pas présente dans ce bâtiment et les fenêtres sont en double vitrage.

Il est mentionné par le gardien que les courant d'air se ressentent à l'intérieur de la cabane et pouvant même affecter la cuisson du gaz durant les jours de fort vent.

3.4.2 Système énergétique

La cabane bénéficie d'une génératrice diesel ainsi que des panneaux solaires pour la production d'électricité, un système de batterie permet de stocker de l'énergie des panneaux solaire.

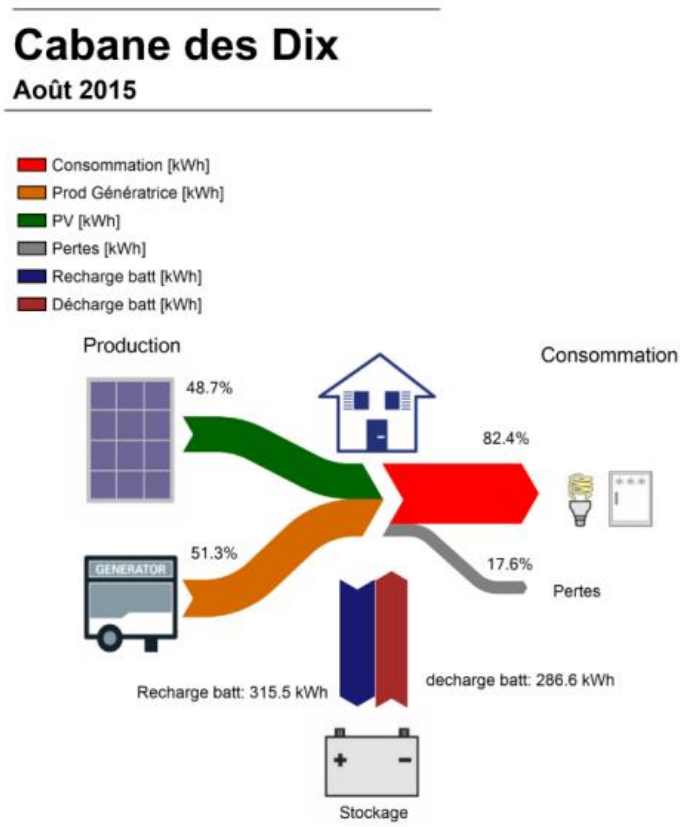


Figure 2: Représentation du système énergétique 2015 de la cabane des Dix (De Kalbermatten Philippe et al., 2016)

La répartition de la production d'électricité est de 48 % pour le solaire et 52 % pour la génératrice. La batterie présente un rendement notable de 82,6 %.

Le gaz est utilisé à la fois pour la cuisine et le chauffage, bien que celui-ci soit peu fréquent. Il est principalement activé pendant quelques jours durant la saison, notamment lors de l'ouverture

pour réchauffer le bâtiment. Par ailleurs, la chaleur émise par la cuisine et la présence des personnes s'avère généralement suffisante pour maintenir une température adéquate.

3.4.3 Consommable

L'approvisionnement alimentaire s'effectue essentiellement auprès de grossistes en produits frais, tandis que la viande est fournie par une boucherie spécifique. La cabane n'a pas accès à l'eau potable, ce qui implique l'acheminement de bouteilles d'eau. De plus, la cabane propose une variété de produits, tels que du vin, de la bière, des liqueurs, des en-cas et des articles divers disponibles au kiosque. Celui-ci offre également des articles d'appoint comme de la crème solaire, du dentifrice ou encore des mouchoirs.

3.4.4 Approvisionnement de la cabane

Tous les approvisionnements nécessaires, qu'il s'agisse de l'eau, de la nourriture, du gaz et du diesel, sont acheminés par hélicoptère depuis Arolla. Sa capacité de charge s'élève à 600 kg. Le transport vers Arolla s'effectue par camion, occasionnellement en coordination avec la cabane des Vignettes.

3.4.5 Déchets

Dans les directives de la cabane il est mentionné que tous les déchets provenant des touristes doivent être repris par les touristes. Concernant les déchets ménagers propre à l'utilisation de la cabane, il est redescendu en hélicoptère lors des rotations d'approvisionnement, pour être traiter conventionnellement dans la déchetterie. Le papier quant à lui est incinéré sur place.

3.5 FONCTION ET UNITÉ FONCTIONNELLE DE LA CABANE ÉTUDIÉE

La fonction principale d'une cabane alpine est l'hébergement de personnes accueillies durant la saison gardiennée mais la cabane sert aussi de refuge de secours.

L'unité fonctionnelle définit la quantité de référence à laquelle se rapporte les impacts environnementaux durant son cycle de vie.
Dans ce cas, l'unité de fonctionnelle choisie est :

> « Assurer un abri sécurisé et confortable appliqué à la cabane des Dix pour une année, en 2022. »

L'année 2022 a été sélectionnée en tant qu'année "standard". Lorsque la crise du Covid s'est terminée, les chiffres sont revenus à des valeurs plus conventionnelles, ce qui permet d'obtenir une étude plus représentative des dernières années.

3.6 ARBRE DE PROCESSUS

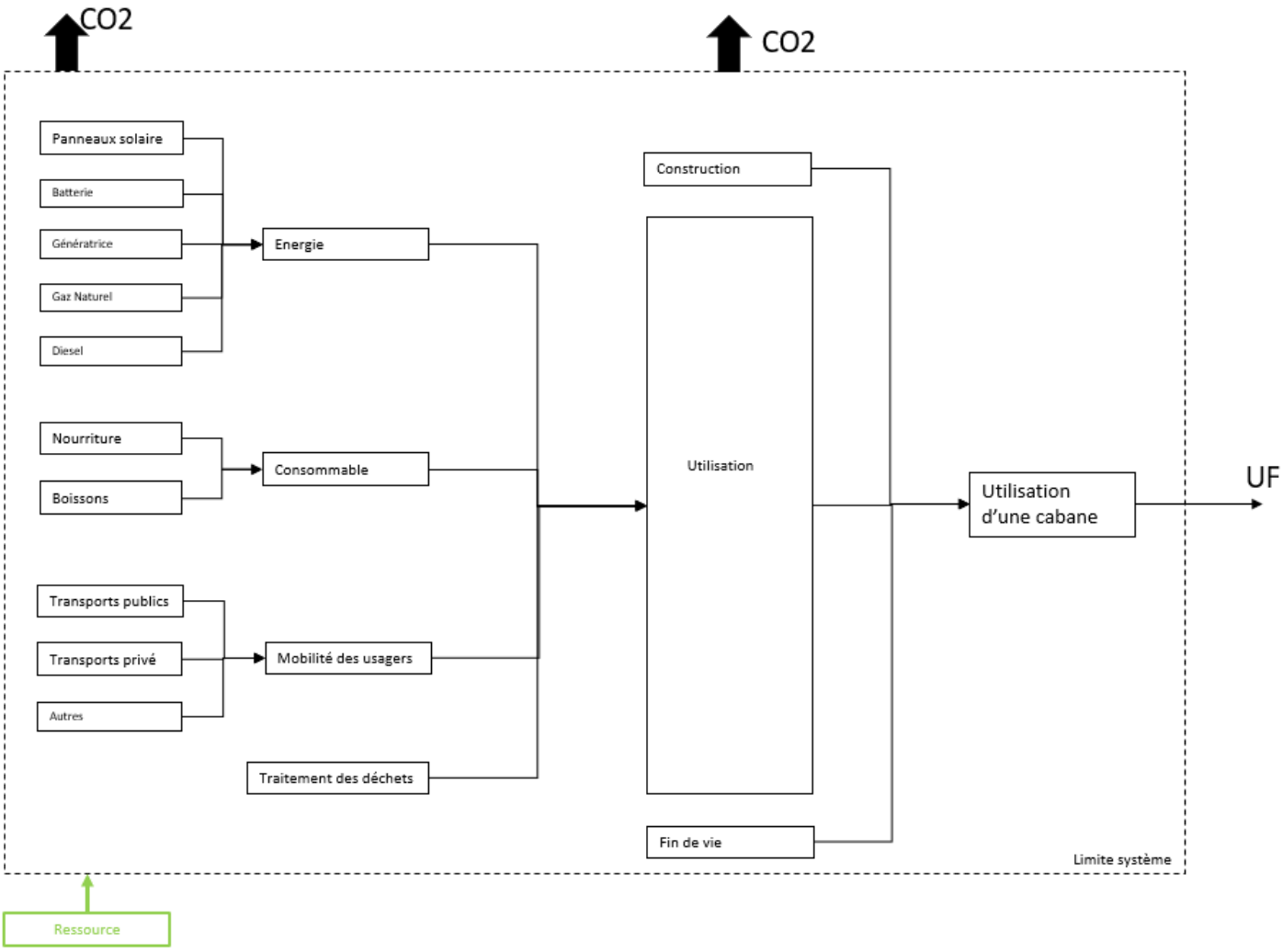


Figure 3: Représentation de l'arbre des processus

L'arbre est structuré en trois parties distinctes, elles sont directement inspirées de la norme NF EN 15978. La phase de production et la phase de construction de la norme EN 15978 sont agrégées en une seule catégorie. De ce fait, la catégorie d'utilisation de la cabane a été ajustée pour mieux s'adapter à ses particularités. Elle englobe les consommables tels que l'énergie, la nourriture et la mobilité des personnes.

3.7 DÉFINITION DES FACTEURS D'IMPACTS

Concernant le choix des impacts environnementaux, la méthodologie "Impactworld+" a été privilégiée. Cette méthode, régionalisée à l'échelle mondiale pour l'évaluation des impacts de cycle de vie (LCIA), permet de représenter des profils d'impact environnemental par un set d'indicateurs complet comprenant les dommages à la santé humaine et à la qualité des écosystèmes, ainsi que les impacts sur l'empreinte de l'eau et du carbone (Bulle et al., 2019).

3.7.1 Changement climatique

L'impact particulier sur le réchauffement planétaire est dû à l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre. Pour cette catégorie, l'effet sur le court a été considéré.

L'unité est en [g de CO_2 équivalent].

3.7.2 Atteinte à la santé

L'atteinte à la santé est une mesure utilisée pour évaluer l'impact sur la santé d'une maladie, d'une blessure ou d'autres facteurs néfastes. Elle tient compte à la fois des années de vie vécues avec une incapacité ou une mauvaise santé.

L'unité est en [DALY]= années équivalentes de vie perdues (Disability Adjusted Life Years)

3.7.3 Qualité des écosystèmes

La qualité des écosystèmes permet de quantifier et comparer les effets environnementaux en termes d'atteintes aux écosystèmes, de perte de biodiversité, de perturbation des habitats.

L'unité est en [PDF*m^2*an] = fraction d'espèce disparue sur un mètre carré pour une année.

3.8 FRONTIÈRE SYSTÈME

L'ACV a été réalisée en se concentrant sur une période spécifique, ce qui peut limiter la prise en compte d'effets à long terme ou de changements dans le temps. Les données utilisées dans cette étude proviennent au maximum de données réelles, cependant certaines données sont basées sur des estimations provenant d'études qui peuvent introduire des incertitudes dans les résultats.

3.9 PROCESSUS MULTIFONCTIONNEL

L’incinération des déchets sert en premier lieu à éliminer ceux-ci. Depuis plusieurs années, la récupération de chaleur ainsi que la production d’électricité ont été ajoutées à ce processus. Le processus d’élimination de déchets permet donc d’éviter la production par d’autres sources électriques et thermiques, diminue donc un apport en ressources fossiles et évite l’émission d’une certaine quantité de CO2 équivalent.

4 INVENTAIRE ET IMPACTS DU CYCLE DE VIE

4.1 COLLECTE DE DONNÉES PRIMAIRES ET MISE À L'ÉCHELLE DE L'UNITÉ FONCTIONNELLE

La collecte de données primaires explique pour chaque activité la démarche entreprise pour pouvoir acquérir les mêmes données. Toutes les données sont regroupées en Annexe: 4.

4.1.1 Construction

Il est nécessaire de calculer les dimensions du bâtiment. Les surfaces des différents étages ont été calculées à partir des plans de la cabane visible en annexe, la hauteur entre chaque étage a été mesurée directement sur place.

Le transport dépend directement de la masse du bâtiment. Pour estimer la masse, une étude qui analyse le cycle de vie des matériaux de construction mentionne qu'en Espagne chaque mètre carré d'un bâtiment représente un total de 2,3 tonnes (Zabalza Bribián et al., 2011).

La durée de vie du bâtiment est basée sur une étude qui a passé en revue 60 bâtiments répartis dans 9 pays différents. Elle démontre que la durée de vie des bâtiments est, dans la majorité des cas, de 50 ans (I. Sartori, 2007).

4.1.2 Utilisation

L'utilisation est un regroupement de sous-processus composé de l'énergie, des consommables qui sont un ensemble de nourriture et boisson, de la mobilité ainsi que la gestion des déchets.

I. Energie

Le sous processus Energie représente tous les systèmes énergétiques, comme la batterie, la génératrice, les panneaux solaires ainsi que les ressources énergétiques comme le diesel utilisé pour la cuisine et le gaz, les paramètres clés sont représentés dans les chapitres suivants.

Panneaux solaires

Le processus d'énergie est composé dans un premier temps des panneaux solaires, leur surface a été mesuré directement sur place, leur production provient de l'étude de faisabilité pour la cabane (De Kalbermatten Philippe et al., 2016). La durée de vie est estimée à partir d'une étude publiée en 2022 sur la durée de vie économique des panneaux solaires qui prend en compte une durée de vie de 30 ans (Sodhi et al., 2022). Pour calculer l'impact que représente le transport des panneaux photovoltaïques leur masse a dû être estimée, la valeur choisie provient d'un

article publié en 2022 qui s'intitule : quel poids de panneaux solaire peut supporter mon toit, qui estime que le poids moyen est de 15kg/m^2 (Engie, 2022).

Batterie

Concernant la batterie, ces données techniques proviennent de l'étude de faisabilité (De Kalbermatten Philippe et al., 2016), sa masse a été calculée en prenant en compte une batterie plomb de plus faible capacité trouvée sur le marché.

Génératrice

Les spécifications de la génératrice ont directement été prise sur place sur la plaquette signalétique présente en Annexe: 5 . Elle donne toutes les informations nécessaires pour compléter les paramètres clés.

Gaz Naturel

La quantité et le calcul de l'énergie correspondant au Gaz provient aussi de l'étude de faisabilité (De Kalbermatten Philippe et al., 2016). Les factures de 2022 n'étant pas présentes, les chiffres de 2016 ont été utilisés pour la modélisation. Le gardien précise que la quantité utilisée est constante en fonction des années.

Diesel

La quantité de diesel est aussi donnée dans l'étude en litres. Pour la convertir en énergie il faut multiplier par un facteur de densité énergétique. Celui-ci est pris d'un rapport publié par le département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. Il indique que le pouvoir calorifique inférieur du Diesel est de 43 Mj/kg. Ce même rapport indique que la densité du diesel est de 0,83kg/l ce qui s'avère utile pour calculer les transports nécessaires pour l'acheminement à la cabane (Confédération suisse, 2017).

II. Consommable

Les produits exacts ont été agrégés car ils proviennent directement des factures confidentielles de la cabane, les paramètres clés correspondent donc au flux de référence.

Nourriture

Les données relatives à la nourriture proviennent directement des factures de la cabane. Les masses ont été calculées en fonction des quantités. Étant donné que les factures étaient nombreuses, seuls les éléments égaux ou supérieurs à 10 kg ont été pris en compte. Cette décision a été prise pour optimiser le temps de modélisation et d'analyse des résultats.

Le processus a été divisé en une première partie qui correspond aux produits carnés, aux féculents, aux légumes, aux produits laitiers et une section “autre” a été ajoutée pour intégrer les éléments supérieurs à 10kg qui ne faisaient pas parti des autres catégories.

Boissons

Concernant les boissons, les différentes données proviennent aussi de la facture de la cabane. La facture se concentre sur le fournisseur principal, cependant d’autre fournisseurs plus particuliers ne sont pas pris en compte.

III. Mobilité

Il n'existe pas de données disponibles concernant la mobilité des personnes pour la cabane des Dix, ainsi que pour les autres cabanes. Pour pallier cette absence de données, les lieux de provenance des personnes ont été recueillis par des statistiques sur une période clé d'un mois. Toutes les réservations enregistrées pour le mois de juillet 2022 ont été examinées afin de déterminer la répartition des personnes venant de Suisse, d'Europe et en dehors de notre continent.

Le mois de Juillet a été définit comme mois clés car c’est un moins de forte influence, la statique a été faite sur 1055 personnes. La statistique concernant les lieux de provenance est présente en Annexe: 6.

Pour évaluer les émissions liées à la mobilité des personnes, il a été nécessaire de déterminer les modes de transport utilisés. À cette fin, une autre enquête a été menée dont les résultats sont également présentés en Annexe: 7. Cette étude a été menée sur le terrain, au niveau du barrage de la Grande Dixence, et elle a ciblé spécifiquement les randonneurs de montagne. Les participants ont été interrogés sur leur lieu de provenance, leur moyen de mobilité et leurs objectifs quotidiens. Au total, 172 personnes ont été questionnées pour définir les modes de mobilité en fonction de la provenance des individus.

La première statistique nous permet d’établir le km moyen parcouru par la provenance des gens divisé dans les 3 catégories suivantes : Suisse, Europe, hors-Europe. La deuxième statistique nous donne le type de mobilité moyen utilisé en fonction de leur provenance.

Tableau 1: Paramètre clés Mobilité des usagers

Flux	Paramètre	Quantité	Unité
Bus	Mobilité étranger Europe (bus)	655,61	[pkm/an]
	Mobilité étrangère hors Europe (bus)	1843,14	[pkm/an]
	Mobilité Suisse (bus)	14345,04	[pkm/an]
Train	Mobilité étranger Europe (train)	13493,91	[pkm/an]
	Mobilité étrangère hors Europe (train)	11929,89	[pkm/an]
	Mobilité Suisse (train)	54060,68	[pkm/an]
Avion	Mobilité Suisse (avion)	0,00	[pkm/an]
	Mobilité étrangère hors Europe (avion)	1000869,36	[pkm/an]
	Mobilité étranger Europe (avion)	0,00	[pkm/an]
Co-voiturage	Mobilité Suisse (co-voiturage)	42570,31	[km/an]
	Mobilité étranger Europe (co-voiturage)	307261,00	[km/an]
	Mobilité étrangère hors Europe (co-voiturage)	19883,00	[km/an]
Voiture individuelle	Mobilité étrangère hors Europe (voiture simple)	0,00	[km/an]
	Mobilité étranger Europe (voiture simple)	0,00	[km/an]
	Mobilité Suisse (voiture simple)	21618,61	[km/an]
Marche	Mobilité Suisse (pied)	825,05	[km/an]
	Mobilité étranger Europe (pied)	688,25	[km/an]
	Mobilité étrangère hors Europe (pied)	0,00	[km/an]

IV. Déchets

Aucune donnée concernant la gestion des déchets n'a été reçue, la quantité de déchets a donc été évaluée à l'aide d'une étude qui vise à caractériser la quantité de déchets émis par les personnes. Cette étude réalisée au Vietnam a analysé les déchets de 120 hôtels. Cette enquête conclue que le taux moyen de production de déchets est de 2,28 kg/client/jour (Pham Phu et al., 2018). Un document sur la statistique 2022 des cabanes du CAS mentionne que 5354 nuitées ont été comptabilisées à la cabane des Dix en 2022 (Club Alpin Suisse CAS, 2023).

4.1.3 Fin de vie

La cabane est essentiellement construite en pierre et en bois. La pierre est supposée rester sur place, et le bois traité pour la construction est redescendu en pleine.

La quantité de bois est estimée par rapport à la masse du bâtiment. Une étude qui compare la construction de plusieurs maison en bois mentionne que la part de bois utilisée représente 9% de la masse total (Pajchrowski et al., 2014).

4.2 CALCUL DE L'INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE ET FACTEURS D'IMPACT

L'inventaire du cycle de vie détaille toutes les activités utilisées dans l'outil de calcul OpenLCA. Pour chaque processus, nous avons examiné le processus correspondant dans la base de données Ecoinvent, déterminé l'équation spécifique nécessaire pour mettre à l'échelle les flux de référence, et dressé un tableau avec tous les paramètres à l'échelle. Les détails des paramètres clés, des flux de référence à l'échelle et les noms des processus Ecoinvent utilisés sont disponibles en Annexe: 4.

4.2.1 Construction

La production de la cabane est regroupée dans un processus qui est basé sur la combinaison de deux bâtiments en béton, l'un construit en 1927 et l'autre en 1972, ce qui en fait une moyenne des immeubles existants à plusieurs étages. La durée de vie de la cabane, calculée dans le processus, est de 80 ans.

Étant donné que la cabane a été reconstruite en 1928 puis agrandie en 1978, ce processus est celui qui se rapproche le plus de notre cas. L'unité d'entrée de ce processus est le mètre cube (m^3), qui doit être rapporté à la durée de vie. Le volume par durée de vie a été calculé à l'aide de la relation suivante :

Equation 1: Equations mise à l'échelle "construction"

$$V = \frac{h * \sum S_e}{Dv}$$

Avec :

V : volume total de la cabane [m^3/an]

h : la hauteur d'étage [m]

S_e : la surface d'étages [m^2]

D_v : Durée de vie [an]

Tableau 2: Les flux de références à l'échelles Construction et production cabane

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Construction et production cabane	Flux intermédiaire sortant	Cabane construite	1	Cabane par an
	Flux intermédiaire entrant	Transport hélicoptère	6,15	h/dv
		Transport camion	1085,14	ton*km/dv
		Immeuble, construction	21,70	m^3/dv

4.2.2 Utilisation

V. Energie

Ce chapitre englobe l'ensemble des systèmes énergétiques tels que la batterie, la génératrice, les panneaux solaires, ainsi que les ressources énergétiques comme le diesel utilisé pour la cuisine et le gaz.

Panneaux solaires

Le processus sélectionné dans la base de données Ecoinvent représente le mélange de consommation d'une cellule photovoltaïque. Ce processus englobe à la fois les producteurs et les importations du produit. L'impact est mesuré en fonction de la surface de la cellule photovoltaïque présente à la cabane sur une année, en prenant en compte sa durée de vie. L'équation utilisée est la suivante :

Equation 2: Equations mise à l'échelle "Panneaux solaires"

$$S_{dv} = \frac{S}{D_v}$$

Avec :

S_{dv} : Surface des panneaux solaire en fonction de la durée de vie. [m^2/an]

S : Surface de panneaux solaire [m^2]

D_v : la durée de vie à la cabane [ans]

Tableau 3: Les flux de références à l'échelles Panneaux solaire

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Panneaux solaire	Flux intermédiaire sortant	Panneaux solaire	1	Unité de PV par an
	Flux intermédiaire entrant	Surface PV	0,730	m2/dv
		Transport hélicoptère	0,003	h/dv
		Transport camion	0,011	ton*km/dv

Batterie

Le processus appliqué dans Ecoinvent est semblable à celui utilisé pour les panneaux solaires, mais cette fois-ci il concerne une batterie au plomb. Il est exprimé en kilogrammes en fonction de sa durée de vie, selon l'équation suivante :

Equation 3:: Equations mise à l'échelle "Batterie"

$$M = \frac{M_{plomb}}{C_{plomb}} * \frac{C_{bat}}{D_v}$$

Avec :

M : durée de vie de la batterie en fonction de sa durée de vie [kg/dv]

M_{plomb} : Masse d'une batterie au plomb dans le commerce [kg]

C_{plomb} : Capacité d'une batterie au plomb dans le commerce [Ah]

C_{bat} : Capacité de la batterie présente dans la cabane [Ah]

D_v : Durée de vie de la batterie [ans]

Tableau 4: Les flux de références à l'échelles Batterie

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Batterie	Flux intermédiaire sortant	Batterie	1	Unité de batterie par an
	Flux intermédiaire entrant	Masse de batterie par durée de vie	14,11	kg/dv
		Transport hélicoptère	0,04	h/dv
		Transport camion	7,05	ton*km/dv

Génératrice

Le processus tiré de la base de données Ecoinvent correspond à un ensemble de données agrégées qui représente une estimation de la production d'un groupe électrogène de 18,5 kW. Sa durée de vie est établie sur 20 ans(Intact insurance, 2017). Ce flux est exprimé en termes d'unité de générateur rapportée sur sa durée de vie.

Tableau 5: Les flux de références à l'échelles Génératrice

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Génératrice	Flux intermédiaire sortant	Génératrice	1	Unité de génératrice par an
	Flux intermédiaire entrant	Quantité de génératrice utilisé par an	0,05	Unit/dv
		Transport hélicoptère	0,01	h/dv
		Transport camion	1,98	ton*km/dv

Gaz

Le processus le plus semblable dans la base de données Ecoinvent est celui du propane brûlé dans des équipements de construction. L'unité utilisée est en kilowattheure(kWh) ; elle est similaire à la donnée issue de l'étude de faisabilité.

Tableau 6: Les flux de références à l'échelles Gaz

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Gaz	Flux intermédiaire sortant	Gaz	1	Unité de gaz par an
	Flux intermédiaire entrant	Energie du gaz par an	22750	Kwh/an
		Transport hélicoptère	0,49	h/dv
		Transport camion	87,50	ton*km/dv

Diesel

Le processus sélectionné dans la base de données Ecoinvent correspond à la consommation de diesel par un groupe électrogène de 18,5 kW. Son unité est en mégajoules rapportée à la quantité de diesel consommée par an.

Définit par l'équation suivante :

Equation 4: Equations mise à l'échelle "Diesel"

$$E_{\frac{diesel}{an}} = L_{diesel} * \rho * E_{masse}$$

Avec :

E_{diesel} : l'énergie utilisé via le diesel par an [MJ/an]

L_{diesel} : litre de diesel consommé par an [l/an]

ρ: masse volume du diesel [l/kg]

E_{masse} : la densité massique du diesel [MJ/kg]

Tableau 7: Les flux de références à l'échelles Diesel

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Diesel	Flux intermédiaire sortant	Diesel	1	Unité de diesel par an
	Flux intermédiaire entrant	Energie du Diesel par an	99932	Mj/an
		Transport hélicoptère	0,65	h/dv
		Transport camion	116,20	ton*km/dv

VI. Consommable

Cette section traite de l'ensemble des plats et boissons associés à la cabane. Pour commencer, nous examinerons les différentes catégories d'aliments, puis aborderons les boissons en suivant la même structure. Le transport lié à la nourriture et aux boissons sera regroupé pour plus de généralité et de cohérence.

Produit carné

Divers types de produits carnés sont examinés, chacun étant associé à un processus représentant une activité commerciale, défini par un mélange de consommation spécifique d'un produit dans une région donnée. Cette activité commerciale englobe toutes les étapes (de l'élevage à l'abattage en comprenant le transport) pour approvisionner leurs marchés respectifs.

Les quantités de viandes sont simplement additionnées. Les flux de références mis à l'échelle sont les suivants :

Tableau 8: Les flux de références à l'échelles Diesel

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Produit carné	Flux intermédiaire sortant	Viande	1	Consommation de viande par an
	Flux intermédiaire entrant	Bœuf	151,90	kg/an
		Porc	471,35	kg/an
		Poulet	199,95	kg/an
		Veau	10,80	kg/an

Produits laitiers

De manière similaire à la viande, les produits laitiers proviennent de processus agrégés spécifiques à chaque produit. Ils sont issus d'un marché qui facilite l'échange entre les fournisseurs et les consommateurs dans une région géographique donnée, en incluant également le transport dans l'évaluation.

Tableau 9: Les flux de références à l'échelles Produit laitier

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Produit laitier	Flux intermédiaire sortant	Produit laitier	1	Consommation de produit laitier par an
	Flux intermédiaire entrant	Beurre	125	kg/an
		Crème	348	kg/an
		Fromage	273,90	kg/an
		Lait	72,50	kg/an

Légumes

De manière similaire à la viande, les légumes proviennent de processus agrégés spécifiques à chaque légume. Ils sont issus d'un marché qui facilite l'échange entre les fournisseurs et les consommateurs dans une région géographique donnée. Il n'a pas été restreint aux légumes cultivés spécifiquement en Suisse, car étant donné que la cabane est ouverte en hiver, il est plus pertinent d'envisager un scénario plus représentatif des conditions hivernales. Les processus utilisés incluent également le transport et les pertes associées.

Tableau 10: Les flux de références à l'échelles légumes et fruits

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Légumes et fruits	Flux intermédiaire sortant	Légumes et fruits	1	Consommation de légumes et fruits par an
	Flux intermédiaire entrant	Aubergine	20	kg/an
		Carottes	80	kg/an
		Courgette	40,30	kg/an
		Oignons	432	kg/an
		Orange	69,60	kg/an
		Poivron	20	kg/an
		Tomate	130	kg/an

Féculent

Le processus lié aux pommes de terre concerne la production d'1kg de pommes de terre cultivées en Suisse. Ce choix a été motivé par le fait que la Suisse est un important producteur, ce qui convient particulièrement aux besoins des repas hivernaux en montagne. Le marché mondial du riz basmati a été pris en considération en incluant le transport associé dans l'évaluation. Il convient de noter que d'autres féculents, tels que les lentilles, n'ont pas été inclus dans le modèle en raison de l'absence de processus correspondants dans la base de données Ecoinvent.

Tableau 11: Les flux de références à l'échelles Féculent

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Féculent	Flux intermédiaire sortant	Féculent	1	Consommation de féculent par an
	Flux intermédiaire entrant	Patate	520	kg/an
		Riz	105	kg/an

Autres

La dernière catégorie englobe certains éléments présents en quantité suffisante pour être traité mais qui ne se sont pas intégrés dans les catégories antérieures. Cela inclut le sucre, dont la production est en Suisse, ainsi que le café en grain et l'huile, qui ont été modélisés avec une portée mondiale.

Tableau 12: Les flux de références à l'échelles Autre

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Autre	Flux intermédiaire sortant	Autre	1	Consommation de produit Autre par an
	Flux intermédiaire entrant	Huile	65	kg/an
		Sucre	30	kg/an
		Café en grain	17,25	kg/an

Boissons

Les émissions des boissons ont été calculées séparément en utilisant un facteur provenant de la base de données d'Agribalise, qui a été appliqué à un élément type pour chaque catégorie. Ce facteur prend en compte à la fois le transport et l'emballage.
C'est démontré par la relation suivante :

Equation 5: Equations mise à l'échelle "Boissons"

$$E_{boi} = \alpha_{boi} * \sum Q_{boi}$$

Avec :

E_{boi} : La quantité d'émission total rapporté au type de boissons [kg Co2 equi]

α_{boi} : Facteur d'émission de Co2 rapporté par le type de boissons [kg Co2 equi]

Q_{boi} : Quantité de boissons rapporté par type [kg]

Tableau 13: Les flux de références à l'échelles Boissons

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Boissons	Flux intermédiaire sortant	Boissons	1	Consommation de boissons par an
	Flux intermédiaire entrant	Eau	15733,08	kg/an
		Boisson sucré	1522,60	kg/an
		Bière	7002,36	kg/an
		Vin	154,50	kg/an
		Spiritueux	127,45	kg/an
		Transport hélicoptère	6,95	h/dv
		Transport camion	1227	ton*km/dv

VII. Mobilité

La mobilité comprend plusieurs sous-processus, le premier étant les transports en commun, suivi des déplacements personnels qui incluent les voitures privées, ainsi que les déplacements pour les visiteurs non européens (incluant principalement les voyage en avion). Les individus sont classés en trois catégories distinctes : les résidents suisses, les touristes européens et les touristes provenant de l'extérieur de l'Europe.

Transport public

Les transports en commun englobent à la fois les bus et les trains. Le processus est spécifiquement lié aux bus suisses, en prenant en compte la durée de vie, la fabrication et les émissions de ces véhicules. Le processus relatif aux trains suisses considère leur cycle de vie (de la fabrication à l'émission).

Les unités de mesure sont exprimées en volume de transport de passagers pour une année. En ce qui concerne les voyages en avion, le processus est basé sur l'aéroport de Zurich et inclut les vols moyen-courriers dépassant 4000 km.

Le volume de transport total est calculé via l'équation suivante :

Equation 6: Equations mise à l'échelle "Transport public"

$$V_{trans} = P_{sui} * D_{sui} + P_{euro} * D_{euro} + P_{hors-euro} * D_{hors-euro}$$

Avec :

V_{trans} : Volume transportable total [person*km/an]

P_{sui} : Nombre de personnes Suisses appliqué au transport [unit/an]

P_{euro} : Nombre de touristes Européens appliqué au transport [unit/an]

$P_{hors-euro}$: Nombre de touristes or Europe appliqué au transport [unit/an]

D_{sui} : Distance moyenne parcourue par les Suissesses appliquées au transport [km]

D_{euro} : Distance moyenne parcourue par les touristes Européens appliquée au transport [km]

$D_{hors-euro}$: Distance moyenne parcourue par les de touristes hors Europe appliqués au transport [km]

Tableau 14: Les flux de références à l'échelles Transport Public

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Transport Public	Flux intermédiaire sortant	Transport public	1	Unité transport public par an
	Flux intermédiaire entrant	Volume transport bus	5,3E+07	person*km/an
		Volume transport ferroviaire	2,2E+08	person*km/an
		Volume transport aérien	3,8E+08	person*km/an

Transport privé

Le transport individuel inclut à la fois les déplacements en voiture thermique en solo et le co-voiturage. Le processus est similaire dans les deux cas, en prenant en compte les déplacements d'une voiture thermique d'une masse de 1200kg avec une durée de vie de 150 000 km. Les voitures concernées respectent la norme Euro 4 en englobant les véhicules produits entre 2005 et 2009. L'unité de mesure est exprimée en kilomètres par an.

L'équation permettant de calculer le kilométrage annuel est la suivante :

Equation 7: Equations mise à l'échelle "Transport privé"

$$D_{an} = D_{sui} + D_{euro} + D_{hors-euro}$$

Avec :

D_{an} : Distance annuelle parcourue appliquée au type de mobilité [km/an]

D_{sui} : Distance moyenne parcourue par les Suissesses appliquées au type de mobilité [km]

D_{euro} : Distance moyenne parcourue par les touristes Européens appliquée au type de mobilité [km]

$D_{hors-euro}$: Distance moyenne parcourue par les de touristes or Europe appliquée au type de mobilité [km]

Tableau 15: Les flux de références à l'échelles Transport Privé

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Transport Privé	Flux intermédiaire sortant	Transport privé	1	Unité transport privé par an
	Flux intermédiaire entrant	Distance co-voiturage	5,3E+07	km/an
		Distance voiture simple	2,2E+08	km/an

Autre type de transport

Le dernier mode de transport concerne les déplacements à pied. L'équation requise pour calculer la distance totale consiste à additionner les kilomètres moyens parcourus par les individus au cours d'une année.

Tableau 16: Les flux de références à l'échelles Transport Autre

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Transport Autre	Flux intermédiaire sortant	Marche	1	Unité Km parcouru à pieds par an
	Flux intermédiaire entrant	Distance co-voiturage	4921	km/an

VIII. Déchets

Le processus Ecoinvent modélise le mélange d'élimination pour 1 kg de déchets solides, en prenant en compte que 1 % finit en décharge à ciel ouvert et que 99 % des déchets sont incinérés. Les déchets sont calculés à partir d'une estimation du nombre de déchets émis par personne, en utilisant la relation suivante :

Equation 8: Equations mise à l'échelle "Déchets"

$$M_{déchet} = N_{pers} * Q_{déchet}$$

Avec :

$M_{déchet}$: la masse totale des déchets par année [kg/an]

N_{pers} : Nombre de personne par an [personne]

$Q_{déchets}$: Quantité de déchets par personne [kg/personne]

Tableau 17: Les flux de références à l'échelles Traitement déchets

Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Traitement déchets	Flux intermédiaire sortant	Déchets	1	Unité de déchets par an
	Flux intermédiaire entrant	Déchets	6433,03	kg/an
		Transport hélicoptère	0,17	H/an
		Transport camion	30,48	ton*km/an

4.2.3 Fin de vie

Le processus de fin de vie utilisé se concentre exclusivement sur le traitement et le rapatriement en pleine du bois de construction. À cet effet, un facteur est appliqué à la masse du bâtiment précédemment calculée.

Equation 9: Equations mise à l'échelle "Fin de vie"

$$M_{bois} = \alpha_{bois} * M_{bat}$$

Avec :

M_{bois} : La masse de bois présente dans le bâtiment

A_{bois} : La part de bois présent dans une construction en bois conventionnel [-]

M_{bat} : la masse du bâtiment [kg]

Tableau 18: Les flux de références à l'échelles Fin de vie

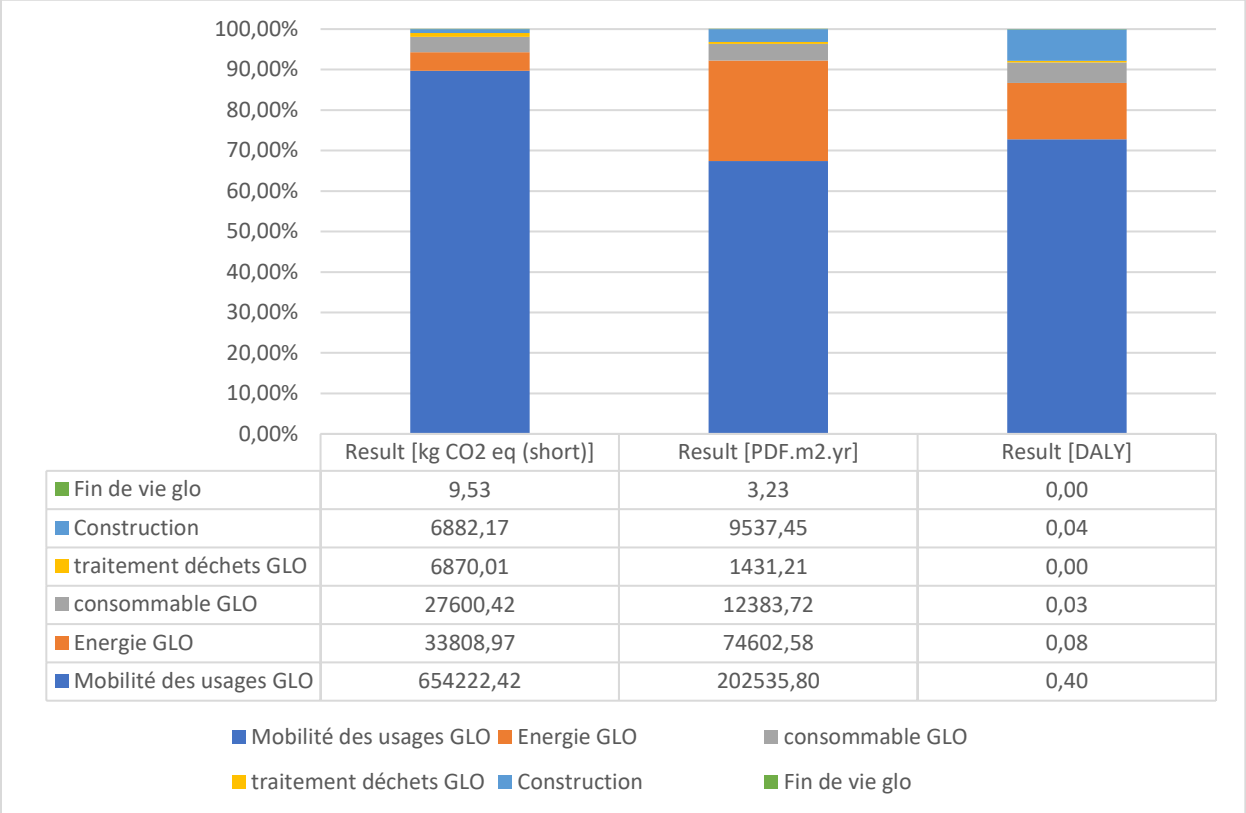
Processus désagrégé	Type de flux	Flux	Quantité	Unité
Fin de vie	Flux intermédiaire sortant	Déchets	1	Unité de déchets par an
	Flux intermédiaire entrant	Masse de bois	195,30	kg/dv
		Transport hélicoptère	0,05	h/dv
		Transport camion	9,76	ton*km/dv

5 EVALUATIONS DES IMPACTS DU CYCLE DE VIE

L'objectif de l'évaluation des résultats est de fournir des scores d'impact globaux par indicateur environnemental et d'analyser la contribution relative de chaque activité. Cette analyse vise à identifier les activités les plus contributrices pour chaque catégorie d'impact. Pour entamer cette évaluation, une analyse globale de la cabane sera entreprise, suivie d'un examen détaillé des différents processus.

5.1 ANALYSE DES RÉSULTATS GLOBAUX

L'approche globale de l'analyse est pertinente pour identifier les principaux points d'impact de manière générale. Ci-dessous, les résultats de la cabane sont présentés :



	Result [kg CO2 eq (short)]	Result [PDF.m2.yr]	Result [DALY]
Fin de vie glo	9,53	3,23	0,00
Construction	6882,17	9537,45	0,04
traitement déchets GLO	6870,01	1431,21	0,00
consommable GLO	27600,42	12383,72	0,03
Energie GLO	33808,97	74602,58	0,08
Mobilité des usages GLO	654222,42	202535,80	0,40

Figure 4: Comparaisons de tous les processus en fonction des différents impacts environnementaux

Il est important de noter que l'échelle n'est pas ramenée à zéro dans un souci de lisibilité. En effet, la mobilité des usagers représente plus de 99% des émissions de la cabane, pour tous les indicateurs environnementaux utilisés. C'est pour cela qu'il est judicieux de procéder à des analyses détaillées pour chaque processus.

L’élément le plus impactant provient de la mobilité des personnes et cela sur tous les indicateurs environnementaux. Néanmoins, les autres sources d'émissions de CO2 ne sont pas à négliger pour autant. La catégorie englobant toutes les interactions avec l'énergie de la cabane représente le deuxième secteur le plus important en termes d'émissions de CO2. Elle est suivie par la consommation de nourriture et de boissons.

Il s’avère intéressant de comparer ces résultats avec l’étude mentionnée au chapitre 1.2 sur le projet pilote mené par le club alpin. Les résultats de cette étude démontre qu’une nuit en cabane engendre 4,6 kg d’équivalent CO2. En 2022, la cabane à compter 5354 nuitées, ce qui représente une moyenne de 14 kg CO2 équivalent par nuit, à frontière équivalente. Cette différence s’explique en partie par la fréquentation plus élevée de la cabane ainsi que les systèmes énergétiques de la cabane des Dix qui dépend encore d’énergie fossile.

5.2 Analyse de la phase de construction

Le processus de construction et de fin de vie sont directement liés du fait qu’il représente l’entier de la cabane physique. Les parts sont visibles ci-dessous :

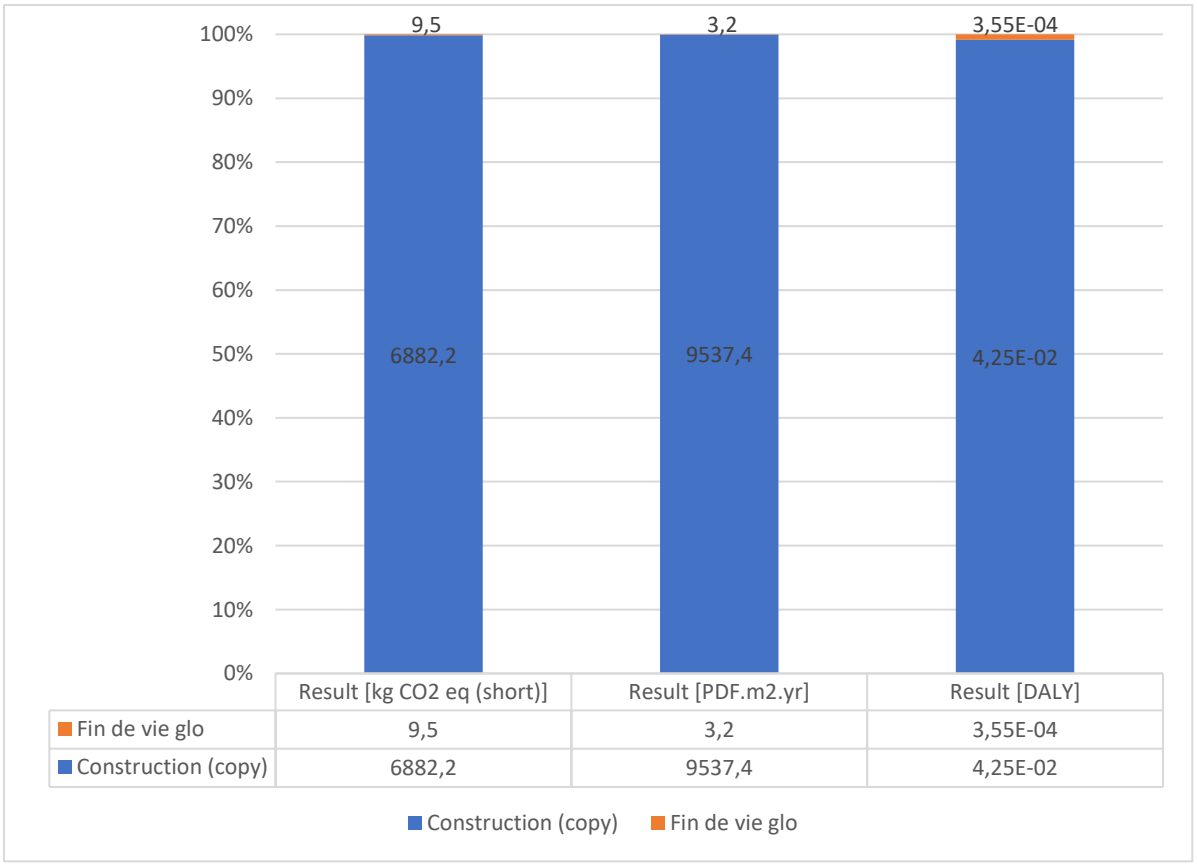


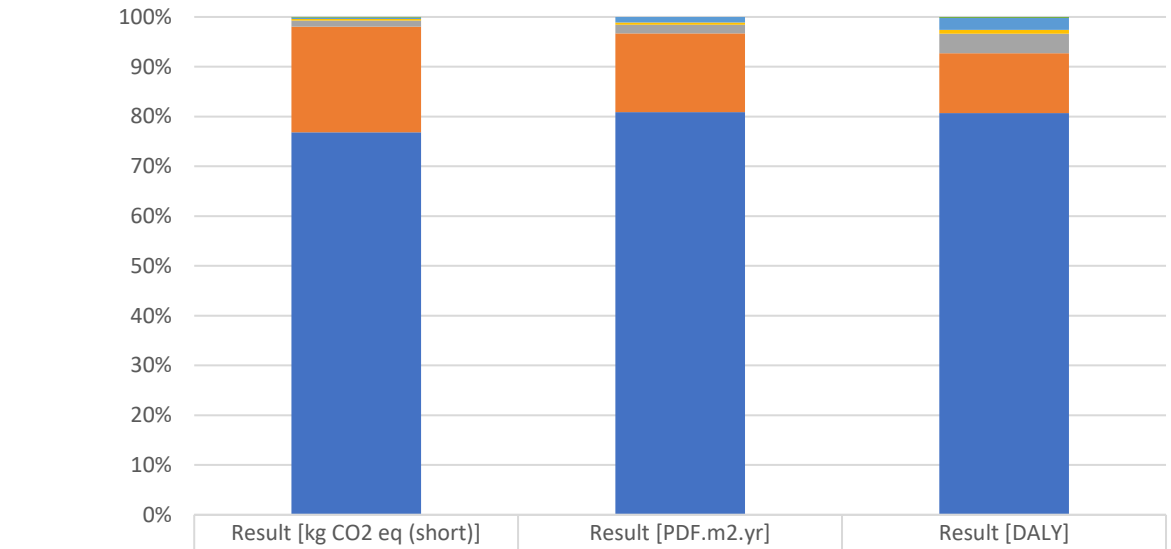
Figure 5: Comparaison du processus de construction et fin de vie en fonction des différents impacts environnementaux

Il est important de noter que l'échelle n'est pas mise à zéro pour des raisons de lisibilité, car la fin de vie contribue très peu aux émissions. Cela est dû au fait que seul le bois de construction est pris en compte dans le processus de fin de vie.
L'émission totale estimée de CO2 pour la durée de vie de la cabane (50 ans) s'élève à 344 100 kg d'équivalent CO2, en tenant compte de l'ensemble. Cela représente une émission de 765 kg d'équivalent CO2 par mètre carré. Une étude menée sur les phases de construction d'une maison familiale en 2014 a obtenu une valeur de 385 kg de CO2 par mètre carré (Pacheco-Torres et al., 2014). La différence entre ces deux valeurs est d'environ un facteur 2, ce qui peut s'expliquer par l'agrégation du processus et le type de bâtiment, ainsi que l'impact des transports en hélicoptère.

Étant donné que les résultats sont de même ordre de grandeur, on peut conclure que la construction de cette cabane ne joue pas un rôle primordial dans l'impact environnemental.

5.3 ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

L'énergie est le deuxième facteur le plus impactant de tous les processus compris dans cette analyse, ci-dessous est représenté la part d'émissions de tous les éléments entrants pris en compte :

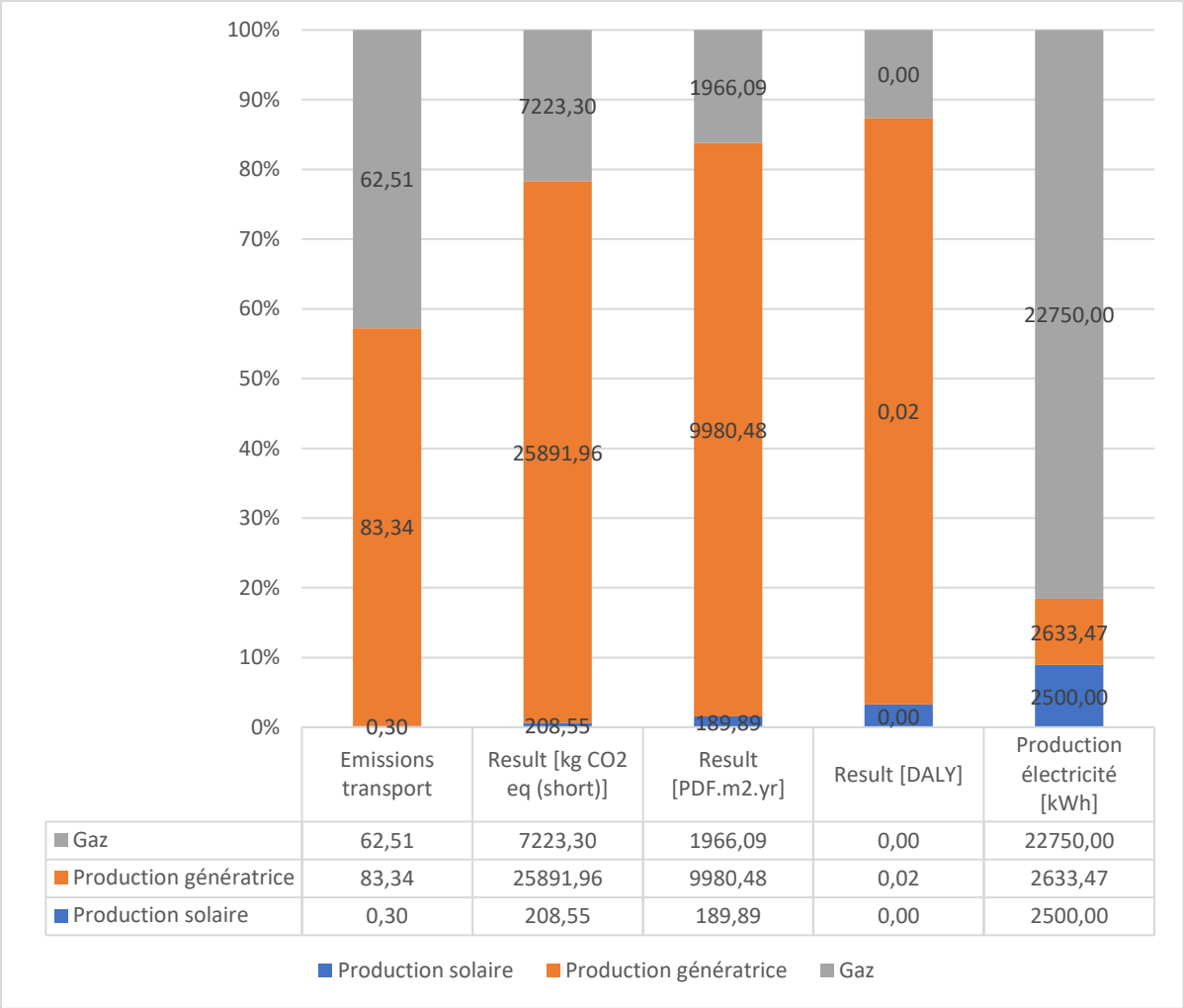


	Result [kg CO2 eq (short)]	Result [PDF.m2.yr]	Result [DALY]
transport	46,1	0,0	6,00E-05
Batterie	83,1	137,1	6,67E-04
Panneau solaire	125,5	52,8	1,99E-04
Génératrice	397,5	220,3	1,09E-03
Gaz	7160,8	1946,9	3,33E-03
Diesel	25892,0	9980,5	2,24E-02

Figure 6: Analyses des impacts environnementaux du processus « énergie »

Pour les trois indicateurs environnementaux, les résultats sont semblables. Il est observable que les éléments physiques ont un impact minime en raison de la prise en compte de leur durée de vie. Les impacts les plus significatifs proviennent des énergies consommables, notamment le diesel et le gaz. La quantité totale de CO2 équivalent émise par les sources énergétiques de la cabane est de 33 700 kg, ce qui représente 6,29 kg CO2eq par nuitée. A titre de comparaison la cabane Arpittetaz émet 0,27 kg CO2eq par nuitée. Cette différence peut s'expliquer par le fait de la différence dans les systèmes énergétiques de la cabane.

Le cabane Arpittetaz ne prend en compte que l'énergie nécessaire au fonctionnement de la cuisine alors que la cabane des Dix consomme du Diesel pour la production de l'électricité en plus de l'utilisation du gaz pour la cuisine.



	Emissions transport	Result [kg CO2 eq (short)]	Result [PDF.m2.yr]	Result [DALY]	Production électricité [kWh]
Gaz	62,51	7223,30	1966,09	0,00	22750,00
Production génératrice	83,34	25891,96	9980,48	0,02	2633,47
Production solaire	0,30	208,55	189,89	0,00	2500,00

Figure 7: Comparaison de la production énergétique et des impacts environnementaux en fonctions des sources

Nous constatons que le gaz représente la plus grande quantité d'énergie avec 22'750 kWh. Nous observons que son impact est nettement plus faible pour l'environnement que le diesel qui représente 2600 kWh annuel dû à la génératrice. Celle-ci émet 78% des émissions pour produire 9% de l'énergie nécessaire à la cabane. Nous apercevons ici un point critique qui nécessite une attention particulière pour la réduction de l'empreinte carbone de la cabane.

En outre, les panneaux photovoltaïques génèrent seulement 0.4% d'émissions pour une quantité d'énergie équivalente à la consommation du Diesel. Cela met en évidence les avantages des énergies renouvelables telles que l'énergie solaire.

L'étude réalisée à la cabane Tschierva révèle que cette dernière tire 51% de son énergie de sources renouvelables, alors que la cabane des Dix n'en utilise que 9%. Ces résultats mettent en évidence un potentiel significatif d'améliorations pour la cabane des Dix.

5.4 Analyse de la consommation de Nourriture et de boissons

Dans ce chapitre, une vue d'ensemble complète des aliments et des boissons est présentée. Ci-dessous, un graphique illustre la répartition des émissions en fonction des types de processus. Il est important de noter que les impacts sur la santé et les écosystèmes ne sont pas inclus dans cette représentation, puisque les données relatives aux boissons proviennent de la base de données Agribalise, qui ne fournit pas ces informations.

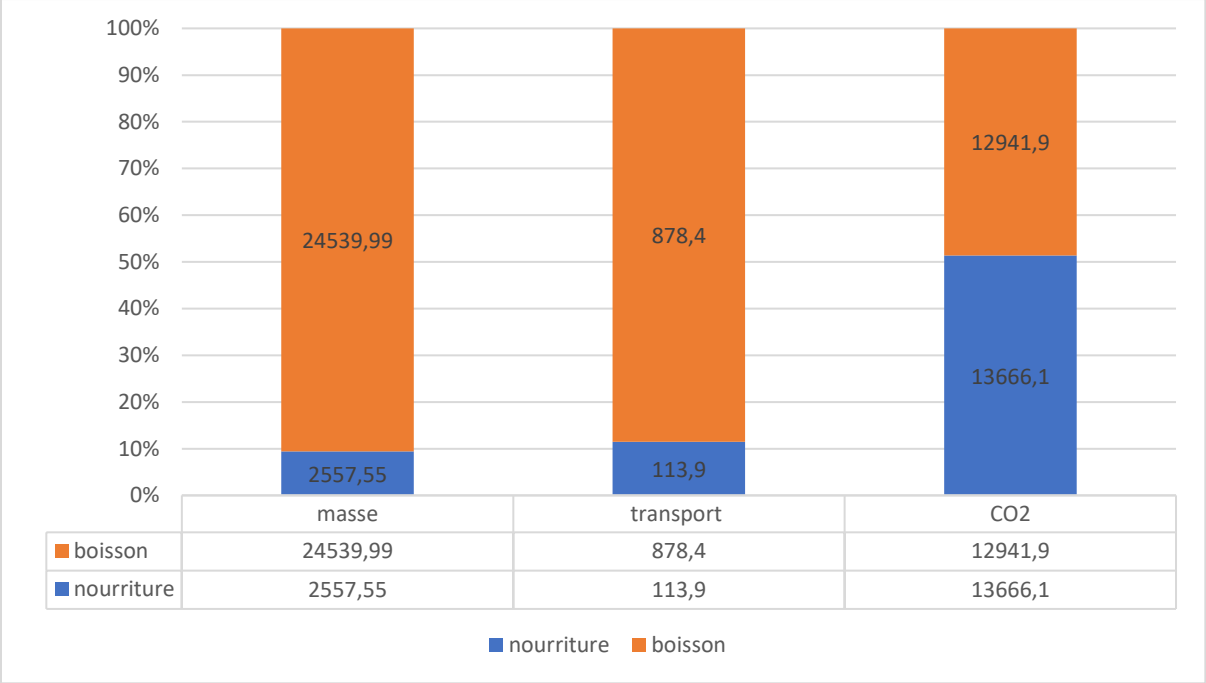


Figure 8: Comparaison du processus nourriture et boisson en fonction de leur masse et GES

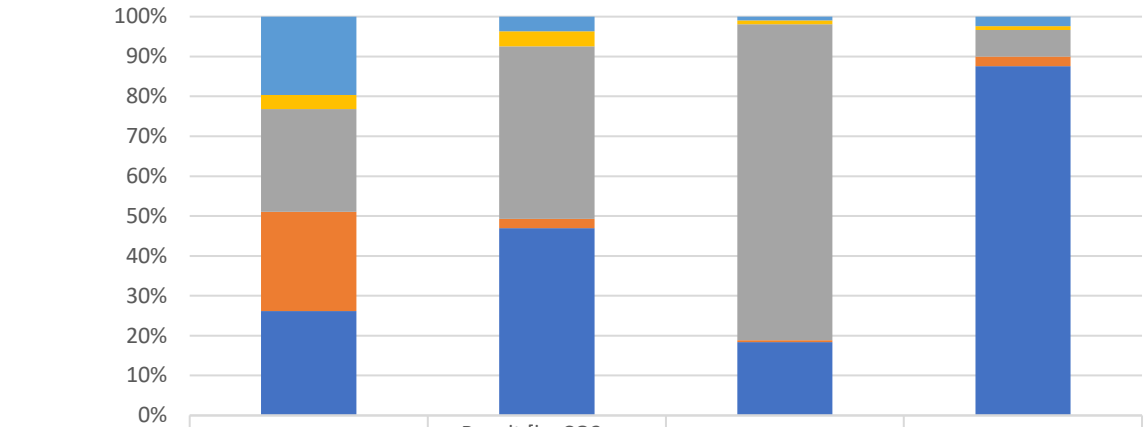
Les émissions liées au transport des boissons et de la nourriture ne représentent que 3% du total, malgré l'utilisation de camions et d'hélicoptères pour le ravitaillement transportant environ 27 tonnes par année. Toutefois, ces résultats indiquent que le ravitaillement n'est pas le facteur dominant.

Le rapport liant la quantité d'émissions par la masse montre que la nourriture a un potentiel d'impact plus considérable que les boissons. Cela peut s'expliquer par l'intensité des ressources nécessaires pour produire de la viande et des produits laitiers. L'élevage exige une grande quantité d'eau et de nourriture pour la croissance des animaux. En outre, les animaux d'élevage contribuent de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre, notamment les ruminants. Des émissions de CO2 sont également entrainées par la déforestation liée à l'élevage.

5.4.1 Nourriture

Nous observons que la nourriture est le principal émetteur de gaz à effet de serre dans ce processus, ces émissions vont être passées en revue et comparer aux résultats du projet pilote mené par le club alpin.

Il est intéressant de comparer les types d'émissions en fonction catégories :



	masse [kg]	Result [kg CO2 eq (short)]	Result [PDF.m2.yr]	Result [DALY]
feculent	625,0	501,1	716,7	1,82E-03
autres	112,3	514,7	673,7	7,28E-04
produits laitier	819,4	5914,1	58912,5	5,06E-03
légume & fruits	791,9	319,0	319,7	1,80E-03
viande	834,0	6417,3	13675,5	6,65E-02

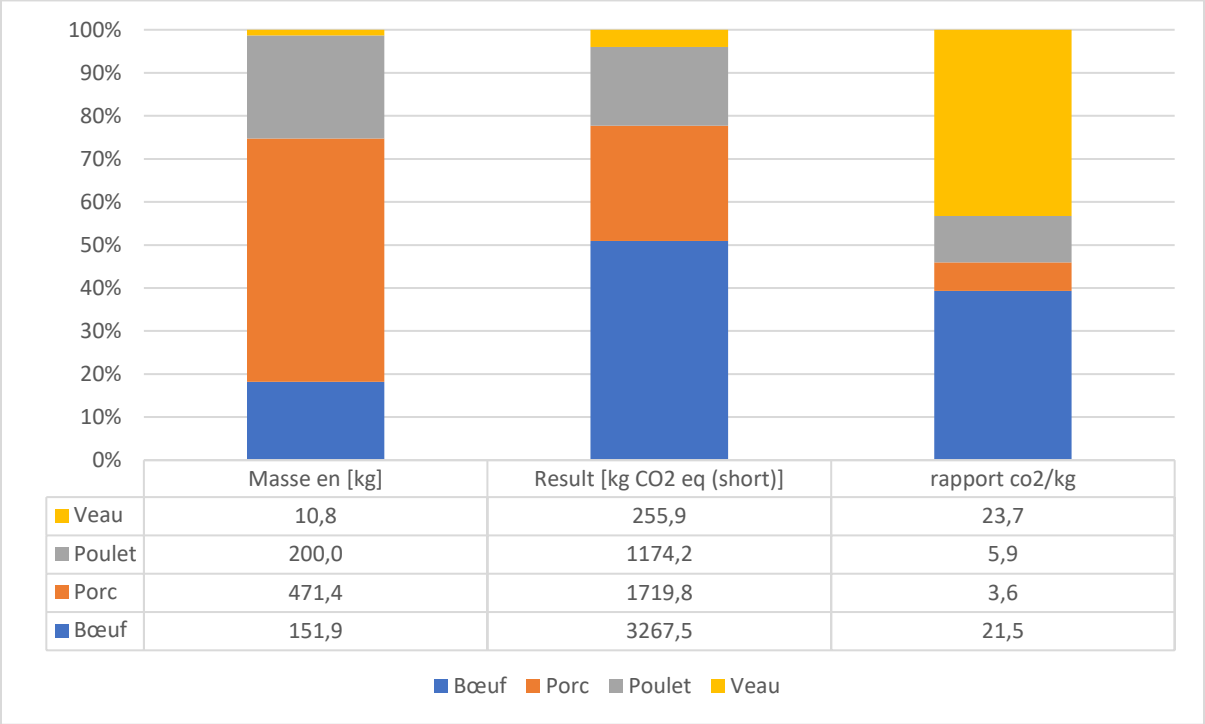
Figure 9: Analyses des impacts environnementaux du processus « nourriture »

Bien que les masses soient très proches, la viande reste l'émetteur le plus impactant pour l'environnement hormis l'atteinte aux écosystèmes. Les produits laitiers possèdent un impact 4x plus élevé que la viande (deuxième plus grand émetteur). Les légumes et les féculents, quant à eux, ont une masse importante et ont de manière générale un faible impact sur l'environnement.

La catégorie « autre » (huile, sucre et café) comptabilise également un faible impact sur l'environnement.

Ces résultats montrent qu'il y a un potentiel d'amélioration important à traiter sur la viande et les produits laitiers. Le détail de leurs des émissions de CO2 est passé en revue dans les points suivants. Cela permet de déterminer quels sont exactement les points les plus impactants pour l'environnement.

IX. Produit carné



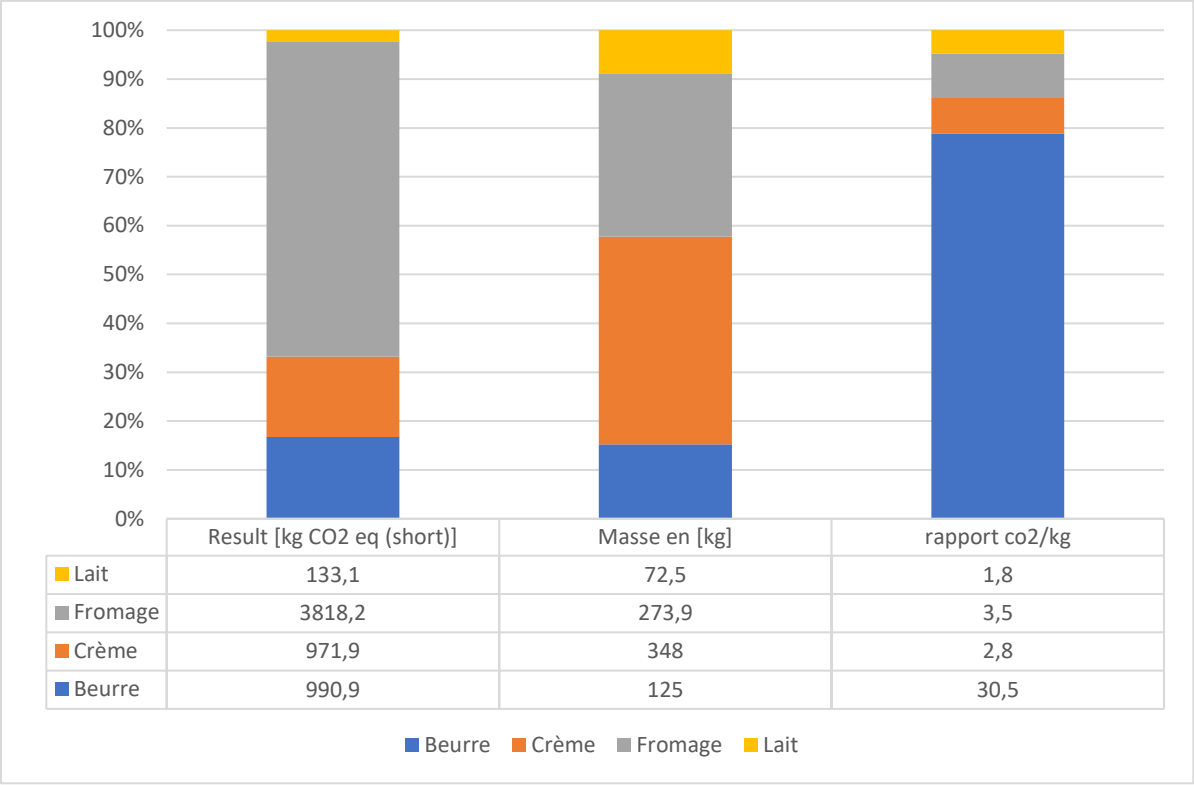
	Masse en [kg]	Result [kg CO2 eq (short)]	rapport co2/kg
Veau	10,8	255,9	23,7
Poulet	200,0	1174,2	5,9
Porc	471,4	1719,8	3,6
Bœuf	151,9	3267,5	21,5

Figure 10: Analyses des impacts environnementaux liés aux produits carnés

On remarque que le porc est la viande la plus consommée avec 56,5 % de part et il est également la moins émettrice de CO2 par kilogramme. Toutefois, le bœuf est la viande émettant l'impact environnemental le plus significatif, malgré que sa quantité soit relativement faible. En effet, il s'avère que le bœuf soit la troisième viande la plus consommée à la cabane des Dix. Une attention particulière doit être réalisée pour diminuer le bilan carbone de la cabane.

X. Produits laitiers

Concernant les produits laitiers, la différence doit s'apparenter à la même chose qu'avec la viande, le graphique ci-dessous mets en évidence les chiffres clés :



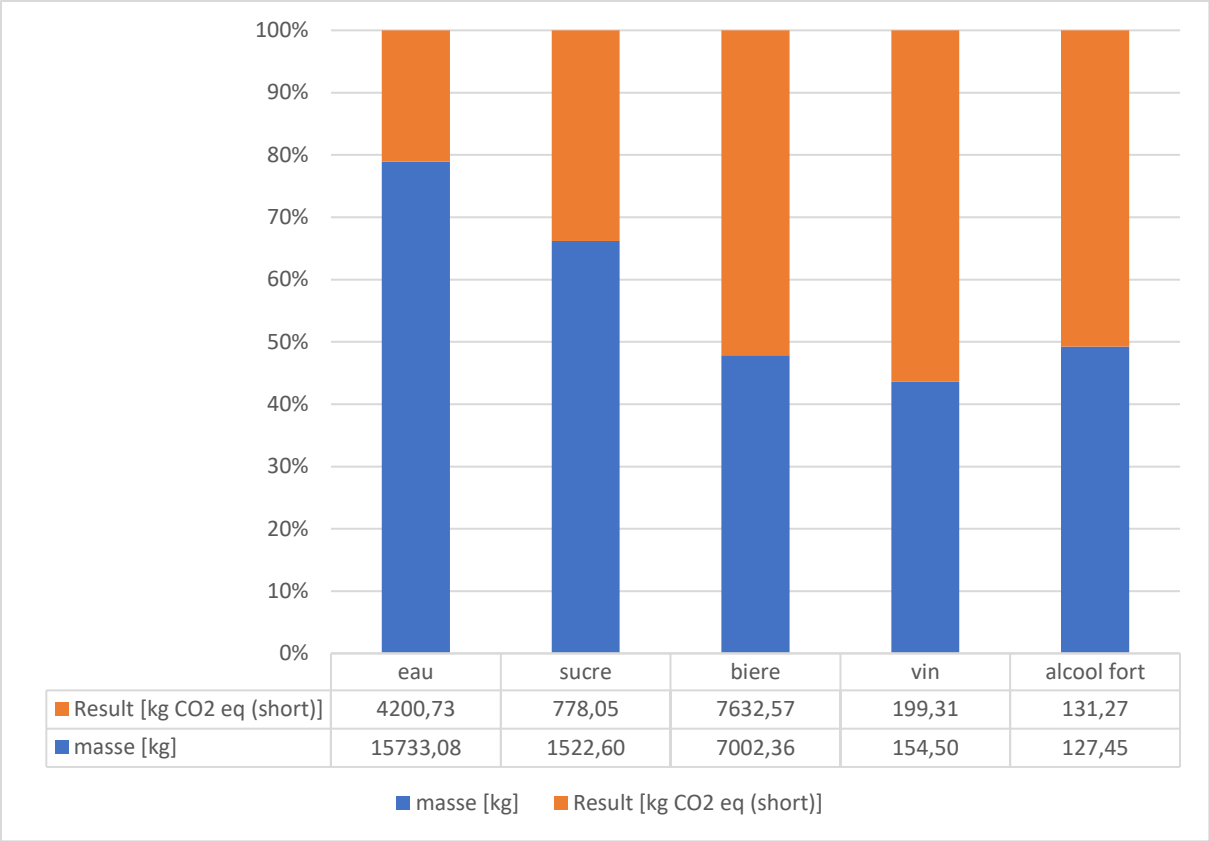
	Result [kg CO2 eq (short)]	Masse en [kg]	rapport co2/kg
Lait	133,1	72,5	1,8
Fromage	3818,2	273,9	3,5
Crème	971,9	348	2,8
Beurre	990,9	125	30,5

Figure 11: Analyses des impacts environnementaux liés aux produits laitiers

Dans cette catégorie, le fromage se distingue comme le point critique, représentant le plus grand impact en termes d'émissions de CO2. Sa consommation en grande quantité contribue à cet impact significatif. Les émissions importantes sont attribuées aux nombreuses étapes impliquées dans la production des produits laitiers, telles que l'agriculture et l'élevage, l'alimentation des animaux, les processus industriels énergivores et les chaînes d'approvisionnement. Il est à souligner que le beurre affiche le rapport le plus élevé entre émissions et masse, avec un facteur de près de 10 par rapport au fromage, une attention particulière peut y être apportée pour diminuer le changement climatique.

5.4.2 Boissons

Le dernier élément abordé dans la catégorie des consommables concerne les boissons, qui affichent la masse la plus importante. Le tableau illustre la comparaison entre la masse et les émissions de gaz à effet de serre en fonction des différents types de boissons :



	eau	sucre	biere	vin	alcool fort
Result [kg CO2 eq (short)]	4200,73	778,05	7632,57	199,31	131,27
masse [kg]	15733,08	1522,60	7002,36	154,50	127,45

Figure 12: Analyses des impacts environnementaux du processus « Boissons »

La bière, avec sa masse et son rapport d'émissions de gaz à effet de serre par kilogramme de produit élevé, se révèle être le principal émetteur de CO2 dans la catégorie des boissons. Un autre élément marquant concerne l'eau, qui représente un poids de plus de 15 tonnes acheminées par hélicoptère pour l'année 2022. Elle affiche le deuxième impact le plus important, principalement en raison de son volume. Bien que l'eau ait un impact environnemental très faible, son impact global n'est pas négligeable.

5.5 DÉCHETS

Les déchets sont entièrement basés sur une étude qui n’est pas directement liée aux cabanes de montagne. Nous comparons les résultats obtenus avec ceux de la cabane Arpittetaz.

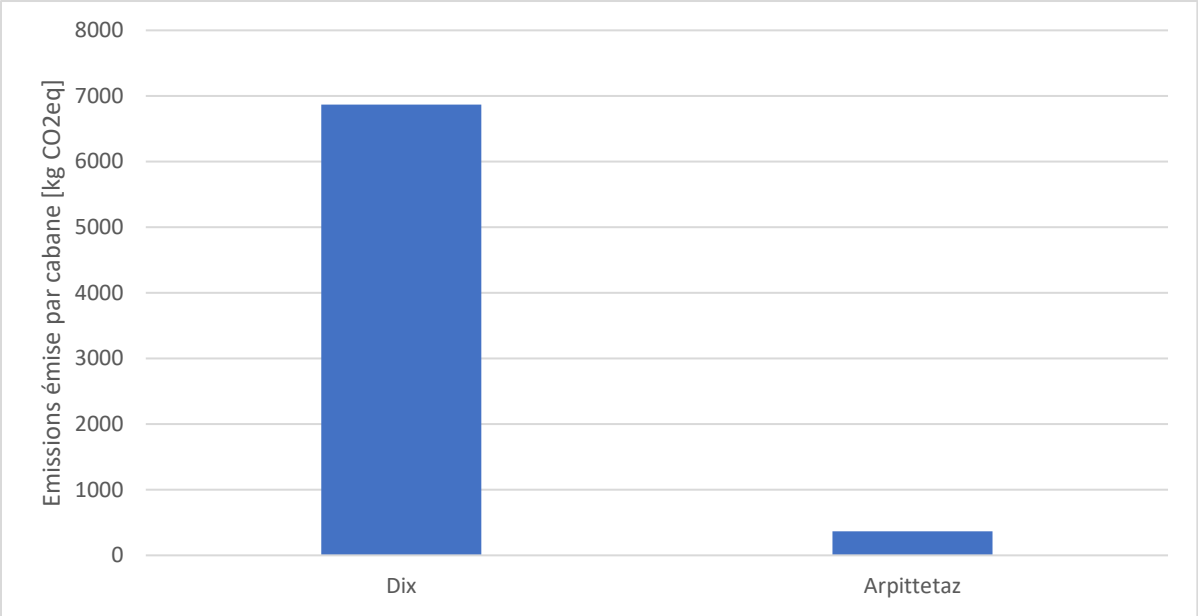
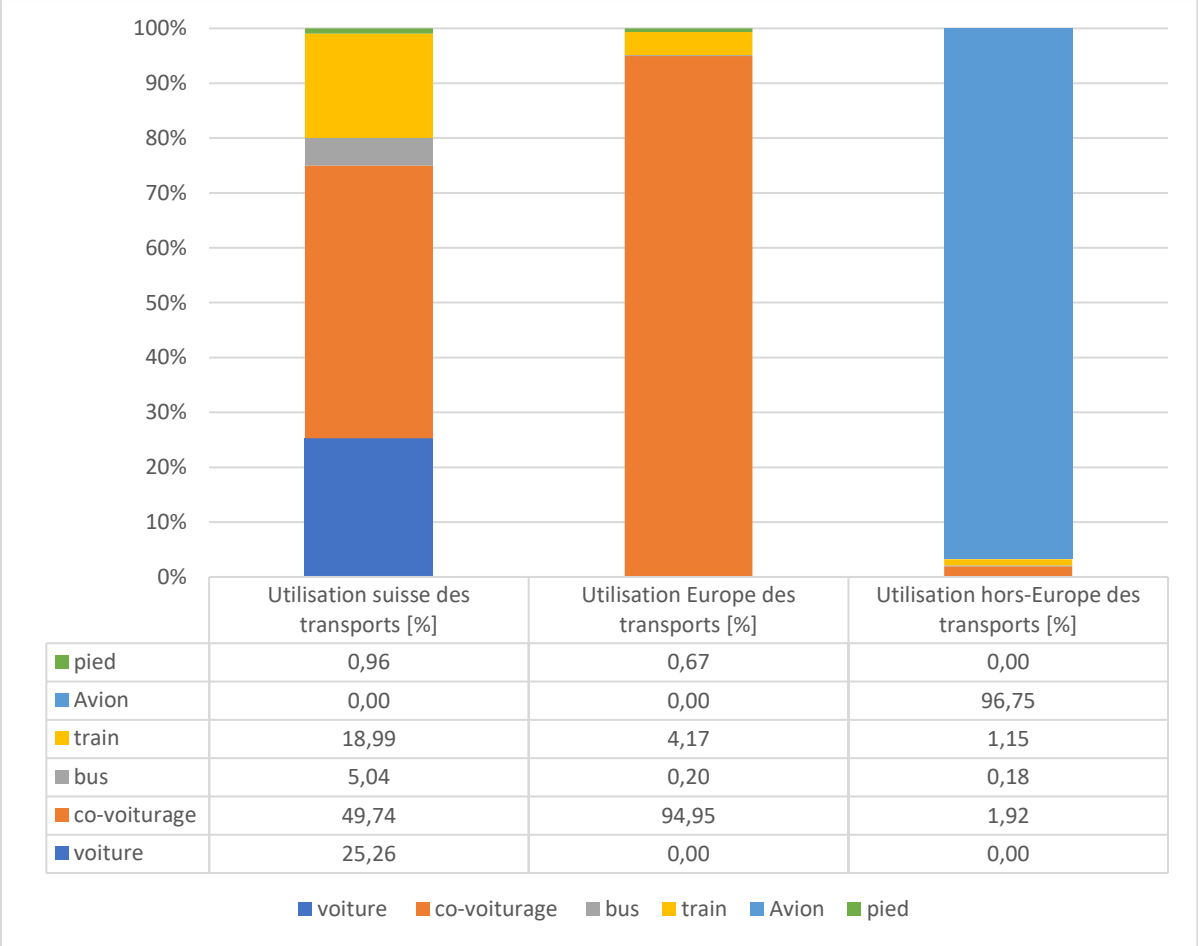


Figure 13: Comparaison du traitement des déchets entre la cabane des Dix et la cabane d'Arpittetaz

L'écart entre les deux résultats est presque d'un facteur 20. Il semble que la cabane des Dix ait probablement un impact plus important en ce qui concerne la gestion des déchets, en raison du nombre plus élevé de nuitées (voir document annexe). Cependant, cet écart est bien trop significatif, ce qui pourrait être dû au fait que le chiffre de 2,28kg/personne/jour est excessivement élevé en termes d'ordre de grandeur. Il serait nécessaire de collecter des données plus précises afin d'obtenir des résultats beaucoup plus pertinents et fidèles à la réalité, cependant l'impact est si faible qu'il ne changerait pas les résultats initiaux.

5.6 MOBILITÉ

L'impact de la mobilité est de loin le plus incontestable, représentant plus de 80% des émissions totales de la cabane. Le graphique ci-dessous illustre les résultats des statistiques établies en montagne, représentant les types de mobilité en fonction de la région. Ces données ont été calculées à partir du nombre moyen de kilomètres parcourus par personnes présent en Annexe: 6.



	Utilisation suisse des transports [%]	Utilisation Europe des transports [%]	Utilisation hors-Europe des transports [%]
pied	0,96	0,67	0,00
Avion	0,00	0,00	96,75
train	18,99	4,17	1,15
bus	5,04	0,20	0,18
co-voiturage	49,74	94,95	1,92
voiture	25,26	0,00	0,00

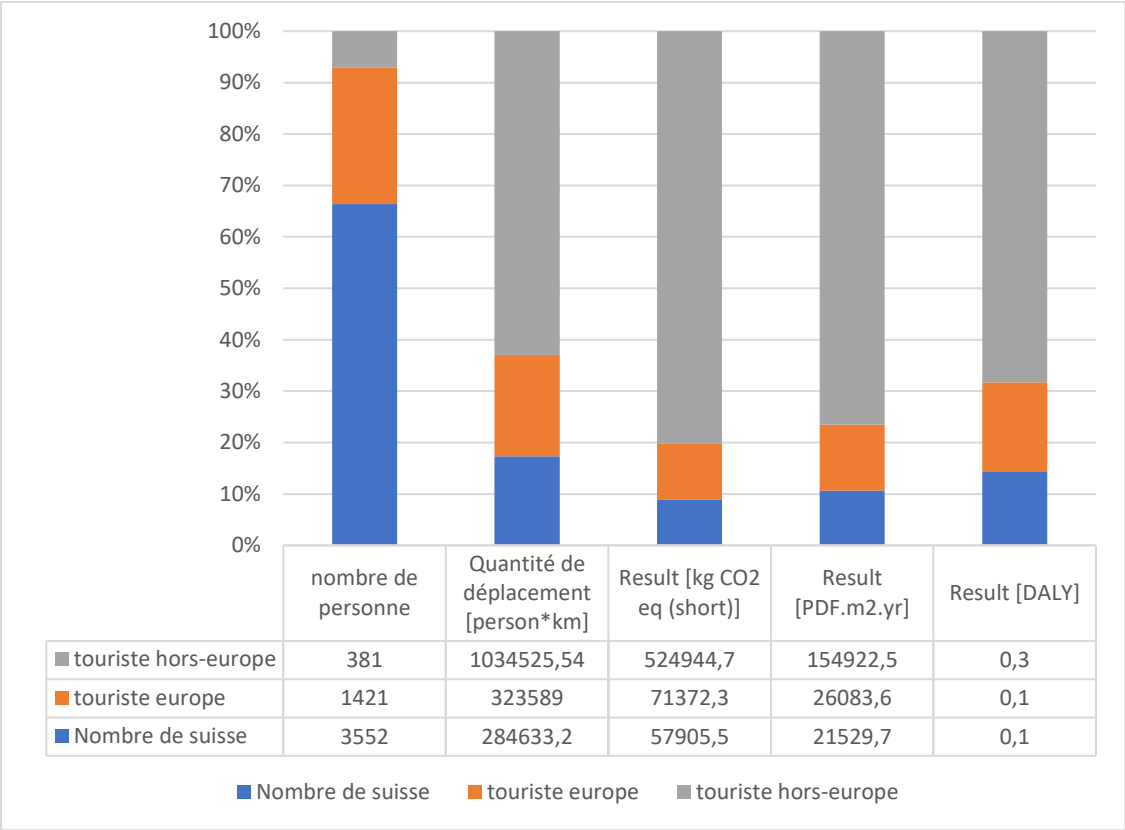
Figure 14: Analyses des impacts environnementaux du processus « Mobilité »

Les touristes suisses parcourent principalement leurs kilomètres en co-voiturage, englobant tous les trajets en véhicule thermique privé à plus de 2 personnes. Les trajets en voiture individuelle représentent 25% des kilomètres parcourus par les Suisses, tandis que les transports publics, incluant les trains et les bus, représentent 24%. En somme, en Suisse, 75% des trajets sont effectués en véhicules thermiques et 25% en transports publics.

Les touristes européens privilégient également le co-voiturage, avec seulement 4% des trajets effectués en transport public. En revanche, les touristes non-européens, une fois arrivés en Suisse, ont tendance à opter pour la location de véhicules plutôt que l'utilisation des transports

publics. Cette préférence peut s'expliquer par les inconvénients liés à la flexibilité des transports publics ainsi que par leurs tarifs élevés.

L'impact de la provenance des différentes régions est représenté ci-dessous.



	nombre de personne	Quantité de déplacement [person*km]	Result [kg CO2 eq (short)]	Result [PDF.m2.yr]	Result [DALY]
touriste hors-europe	381	1034525,54	524944,7	154922,5	0,3
touriste europe	1421	323589	71372,3	26083,6	0,1
Nombre de suisse	3552	284633,2	57905,5	21529,7	0,1

Figure 15: Comparaison de la mobilié et des impacts environnementaux en fonctions de la provenance des touristes

Les résultats révèlent que les touristes provenant de l'extérieur de l'Europe, malgré qu'ils ne représentent que 7% des usagers, engendrent plus de 80% de l'impact environnemental. Cet impact important s'explique par la quantité de déplacement qui représente 63% des émissions et leurs moyens de transports.

Toutefois, l'impact de la région européenne ne peut pas être négligé, bien qu'il constitue une part moins importante. Les touristes suisses se positionnent comme les deuxièmes plus grands contributeurs aux impacts environnementaux. Le graphique ci-dessous illustre les émissions de CO2 équivalent par personne émises.

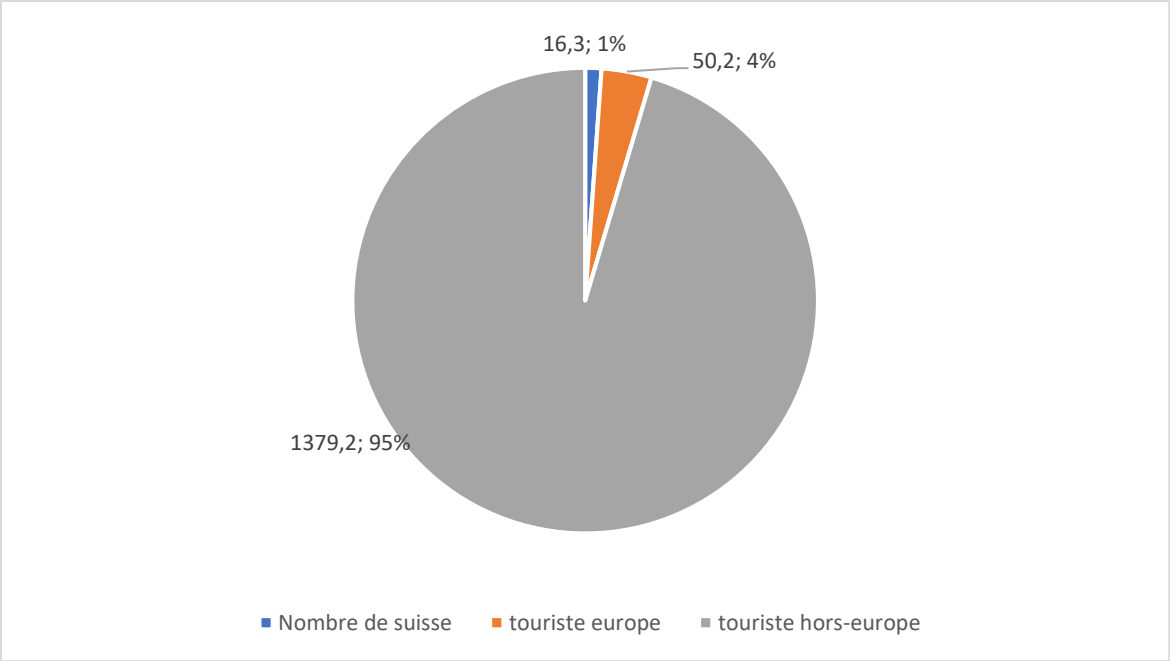


Figure 16: Représentations des GES par personne en fonction de la provenance des touristes

La moyenne d'émission pour une personne Suisse s'élève à 16,3kg CO2eq. Les statistiques établies suggèrent que les Suisses parcourent en moyenne 459 km pour se rendre à la cabane. Une publication sur la consommation de carburant et leurs émissions mentionne une valeur de 123,6 g CO2/km (Office fédéral de l'énergie, 2020). Le résultat du calcul aboutit à une valeur 56,4kg CO2 équivalent. Cette différence peut provenir du type de véhicule modélisée dans Ecoinvent qui correspond à des véhicules plus anciens.

Les conclusions de cette analyse répondent à la première section du cahier des charges en identifiant les impacts les plus significatifs dans chaque catégorie.

6 SUGGESTIONS D'AMÉLIORATIONS

La deuxième section du cahier des charges vise à formuler des suggestions d'amélioration pour réduire l'impact de la cabane. Pour atteindre cet objectif, chaque aspect des résultats est examiné en détail, ce qui permettra finalement de synthétiser les informations et de comparer les variations d'impact.

6.1 CONSTRUCTION

Proposer des solutions pour réduire l'impact environnemental de la construction et de la fin de vie d'une cabane est une tâche complexe. Une rénovation complète avec l'ajout de matériaux modernes et une meilleure isolation ne ferait qu'augmenter le bilan environnemental de la cabane ainsi que son confort pour les randonneurs. Pour toutes nouvelles constructions, il est important de se référer au document fournissant des recommandations pour la construction de cabanes durables, fournit par le club alpin (Club Alpin Suisse (CAS), 2021).

6.2 UTILISATION

6.2.1 Energie

Comme mentionné dans le chapitre 2.2 un projet de pile à combustible avait été imaginé pour la cabane des Dix, visant à rendre la cabane autonome énergétiquement. Ce projet a été modélisé comme un scénario pour regarder son impact environnemental.

Les données concernant le système hydrogène proviennent de l'étude de faisabilité. A propos du solaire photovoltaïque, ce sont l'entièreté des surfaces des toits qui ont été prises compte. Une modélisation a donc été effectuée sur OpenLCA.

Suite à l'arrêt du projet initial, un autre scénario a été modélisé. Celui-ci implique l'ajout de panneaux solaires sur la surface équivalente du pan ouest du toit, visant à rendre la cabane énergétiquement autonome en été. De plus, l'équivalent de la surface du pan est du toit serait équipé de panneaux solaires thermiques pour réduire la quantité de gaz nécessaire pour chauffer l'eau, ce qui entraînerait une diminution de 50% de la consommation de gaz. Dans ce scénario, la cabane serait conçue pour être totalement indépendante du diesel, mais 50% du gaz serait encore utilisé.

Les paramètres clés ainsi que les flux de références mis à l'échelle pour ces deux scénarios sont disponibles en **Error! Reference source not found.**.

Tableau 19: Synthèse des résultats pour les suggestions d'améliorations énergétique

	Emissions Gaz à effet de serre [kg CO2eq/an]	Δ émissions [kg CO2eq]	Prix d'investissement [CHF]	Rapport prix/émissions [CHF/kg CO2eq]
Scénario 1 Pile à combustible	3135,8	30673,1	400000,0	13,0
Scénario 2 PV	4840,1	28968,9	120000	4,1

Les résultats présentés ne sont que des estimations de l'empreinte carbone fournissant une indication générale des kilogrammes de CO2 équivalent économisés.

Le premier scénario impliquant une pile à combustible vise à rendre la cabane complètement autonome sur le plan énergétique. Néanmoins, cela représente un défi technologique majeur et engendre des coûts significatifs à la fois pour l'investissement initial et pour la maintenance continue du système. Le coût par kilogramme de CO2 équivalent économisé dans ce scénario est de 13.-, ce qui est trois fois plus élevé que celui du scénario 2.
Ce dernier se repose sur des technologies plus simples et mieux établies. Il est toutefois important de mentionner que ce scénario considère l'absence d'utilisation de la génératrice. Afin d'évaluer la faisabilité d'une cabane fonctionnant entièrement aux énergies renouvelables et sans génératrice, une étude plus détaillée serait nécessaire.

6.2.2 Nourriture

Dans les conclusions relatives à l'alimentation, la viande représente le point le plus crucial en termes d'impact environnemental. La consommation moyenne de viande par personne et par nuitée est de 157 grammes, tandis qu'une étude alimentaire de 2007 préconise une quantité cible globale de 90 grammes par jour, soit un facteur 1,7 (McMichael et al., 2007).

En optimisant la répartition de la viande consommée pour atteindre l'objectif global de 90 grammes par personne, il serait possible de compenser la différence de grammage en ajoutant des légumes, étant donné que ces derniers ont des impacts environnementaux moins importants :

Tableau 20: Synthèse des résultats pour une suggestion d'amélioration de la consommation de viande

	Masse [kg]	Emissions Gaz à effet de serre [kg CO2eq/an]	Gaz à effet de serre économisé [%]	Rapport prix/émissions [CHF/kg CO2eq]
Total	**834,0**	1781,7	72,2	2,1
Bœuf	0,0	0	100,0	-
Porc	**471,4**	1719,7697	0,0	3,6
Poulet	10,6	61,95279721	94,7	5,9
Veau	0,0	0	100,0	-
Légume comblé	352,1	141,8444258	-	0,4

En compensant la réduction de la consommation de viande par l'ajout de légumes, il est possible de réduire les émissions de CO2 équivalentes de 72%. D'un point de vue économique, en se basant sur le prix moyen du kilogramme de viande qui estimé à 20,56 francs suisses (Simon Bradley, 2018) et le prix moyen des légumes qui est de11,40 francs (Union suisse des paysans, 2023), une économie de 18% peut être réalisée, soit environ 4700 francs.

La possibilité d'une cabane végétarienne peut être envisagée avec diverses variantes pour fournir aux randonneurs un apport suffisant en protéines. Une étude publiée en 2023 dans le journal Nature explore plusieurs solutions pour combler ce manque de protéines tout en analysant leur impact environnemental (Jones, 2023). Les légumineuses, avec leur rapport CO2/kg 20 fois inférieur à celui de la viande, constituent une excellente option. La collaboration avec des nutritionnistes pour élaborer des menus végétariens serait la démarche la plus judicieuse afin de répondre aux besoins nutritionnels des randonneurs de manière optimale.

Le deuxième facteur d'émission le plus important était les produits laitiers, en particulier le fromage, qui représente 65% des émissions. Toutefois, son rapport CO2 par kilogramme est de 3,5. Ces émissions sont largement dues au volume de fromage utilisé, et il n'y a pas de substitut direct pour le fromage.

Parmi les produits laitiers, le beurre présente le rapport d'émission par kilogramme le plus élevé, avec plus de 30kg de CO2 émis par kilogramme de beurre. Malgré que le beurre soit largement utilisé, des alternatives existent, notamment la margarine, qui présente une empreinte carbone de 1,72 kg de CO2 équivalent par kilogramme de margarine (Agribalise, 2023). De plus, son prix est inférieur de 30% à celui du beurre (Office fédéral de l'agriculture OFAG, 2021).

Cette suggestion d'amélioration pourrait réduire les émissions de CO2 de 775 kg, soit une amélioration de 78%. Le prix du beurre de cuisine est de 13,55 francs suisses par kilogramme (RTS.ch, 2018). En choisissant la margarine qui coûte 30% moins cher, une économie d'environ 500 francs pourrait être réalisée.

6.2.3 Boissons

Les boissons alcoolisées affichent les rapports d'émissions par kilogramme les plus élevés, ce qui rend la bière particulièrement préjudiciable pour l'environnement. Afin d'envisager des améliorations, il serait pertinent d'examiner la quantité d'alcool consommée par personne afin de déterminer si sa présence pourrait être réduite. L'idée n'est pas nécessairement d'éliminer totalement l'alcool, mais plutôt de surveiller la consommation. Un article publié dans la revue médicale suisse en 2012 suggère de ne pas dépasser 28 g/jour d'alcool pour les femmes et 42 g/jour pour les hommes.
Pour évaluer les implications sociales de la consommation d'alcool dans une cabane de montagne, il serait intéressant de réaliser une analyse du cycle de vie sociale (S-Lca).

L'eau se classe également parmi les éléments ayant un impact significatif dans cette catégorie. Pour réduire son impact, l'installation d'un réservoir d'eau avec des filtres serait nécessaire. En se positionnant en tant que distributeur officiel d'eau, la cabane devrait traiter l'eau avant de la servir. Les technologies appropriées sont déjà mentionnées dans le guide de construction du CAS, en privilégiant notamment les filtres à membrane qui consomment très peu d'énergie. Le club alpin dispose déjà de fournisseurs de filtres adaptés à une utilisation en montagne.

Cependant, les filtres à eau à membranes constituent un domaine spécifique pour lequel il n'existe pas encore de littérature définissant la quantité de CO2 émise par un tel système tout au long de son cycle de vie.

En outre, les panneaux solaires thermiques étudiés précédemment pourraient éviter le gel de l'eau et garantir ainsi une alimentation en eau courante en toute saison. Cette solution contribuerait considérablement à la réduction des émissions de CO2 liées à l'eau et à son transport.

Nous obtenons les résultats suivants :

Tableau 21: Synthèse des résultats pour une suggestion d'amélioration de la consommation de boissons

	Δ émissions [kg CO2eq]	**Économie de gaz à effet de serre [%]**	**Prix d'investissement [CHF]**
Système ultrafiltration	4200,7	32,45	17'000

Le coût total prend en compte le filtre au prix de 9000 francs selon Vuna, le partenaire du club alpin pour ces systèmes, ainsi que 3000 francs pour le réservoir et 5000 francs pour la mise en place et le raccordement au panneau solaire thermique. Néanmoins, ces chiffres sont des estimations.

Il est important de noter que l'eau représente une source de revenus considérable pour le gardien, qui vend des bouteilles d'eau. Une analyse du cycle de vie sociale (S-Lca) permettrait de déterminer si les randonneurs seraient prêts à acheter de l'eau courante provenant de la cabane. Dans le cas contraire, il faudrait envisager une autre source de financement.

6.2.4 Déchets

Les déchets ont été quantifiés uniquement par une étude, ce qui rend difficile l'élaboration de solutions concrètes pour limiter leur impact. Néanmoins, il est intéressant de souligner que la politique du zéro déchet dans la restauration n'est pas impossible à mettre en œuvre. Plusieurs restaurants au Canada ont déjà adopté cette approche, ce qui pourrait être une piste de réflexion pour la cabane.

6.2.5 Mobilité

La mobilité représente de loin l'impact le plus significatif sur l'environnement, mais proposer des améliorations pour compenser les émissions de CO2 reste complexe.

XI. Limitations de l'accès à la cabane

Une piste d'amélioration pourrait s'inspirer des décisions prises pour d'autres destinations touristiques, comme l'ascension du mont Blanc, qui est désormais limitée par le nombre de lits disponibles dans les cabanes le long de l'itinéraire depuis 2019.

Un lit à la cabane des Dix émet en moyenne 405'000 kg de CO2 équivalent, et en moyenne un lit accueille 50 personnes. Le prix moyen d'un lit peut être estimé en fonction du chiffre

d'affaires généré par les nuitées (calcul en Annexe: 8) qui s'élève à environ 3'700 francs. L'idée serait donc de réduire le nombre de lits pour limiter l'afflux des visiteurs et ainsi diminuer l'impact de CO2. Pour maintenir la viabilité économique, chaque personne ne voyageant pas en transport public serait facturée 1.- par lit supprimé. Selon les statistiques de 2022, cela toucherait environ 3'762 personnes.

Tableau 22: Synthèse des résultats pour une suggestion d'amélioration sur la mobilité des usagers

Nombre de lits supprimés	Emissions Gaz à effet de serre avec mobilité [kg CO2eq/an]	Emissions Gaz à effet de serre sans mobilité [kg CO2eq/an]	Δ prix [CHF]
1	57,61	6002,04	570,91
10	576,15	60020,41	5709,10
30	1728,44	180061,22	17127,29
50	2880,73	300102,03	28545,49

La suppression de 10 lits entraînerait une augmentation du tarif de nuitée pour les non-membres, passant de 93 à 103.-, ce qui équivaut à une hausse d'environ 10%. Une étude de marché pourrait être entreprise pour estimer la perte potentielle de randonneurs due à cette augmentation de prix.

Avec la suppression de 10 lits, la réduction des émissions de CO2 liées à la mobilité serait plus de 60 fois supérieure aux émissions directes de la cabane.

Toutefois, cette solution de réduire le nombre de lits n'est pas nécessairement réalisable dans des conditions réelles. La cabane n'est pas toujours entièrement occupée. Dans ce cas, une augmentation des prix pourrait affecter davantage les randonneurs suisses plutôt que les 7% de visiteurs étrangers venant spécifiquement pour cette expérience. De plus, cela pourrait aller à l'encontre de la vision du Club Alpin qui cherche à rendre la montagne accessible au plus grand nombre. Cette solution n’est donc pas gardée pour la suite.

XII. Compensation d’empreinte carbone

Une autre possibilité d'amélioration consisterait à compenser les émissions en facturant le prix de la tonne de CO2 afin de financer des activités visant à réduire les émissions globales. À un taux de 100 CHF par tonne de CO2 (Proutat, 2023), cela équivaudrait à environ 70'000 CHF à compenser, soit environ 13 CHF par nuitée. Une telle approche est tout à fait viable économiquement et augmenterait le tarif pour les non-membres de 13%.

Il est crucial de noter que la compensation carbone ne doit pas être considérée comme un substitut à la réduction effective des émissions à la source. L'objectif principal doit être la réduction des émissions réelles de l'empreinte carbone.

6.2.6 Ravitaillement

Les ravitaillements effectués par hélicoptères et camions ne représentent pas un point critique dans le bilan environnemental de la cabane. La masse totale transportée s'élève à environ 30 tonnes.

Des pistes d'amélioration ont été explorées dans d'autres refuges, mais leurs mises en œuvre restent complexes. A titre d'exemple : le refuge de Pagari dans les Alpes-Maritimes transporte régulièrement sa marchandise à dos de mulet (Aree Prottete Alpi Marittime, 2020).

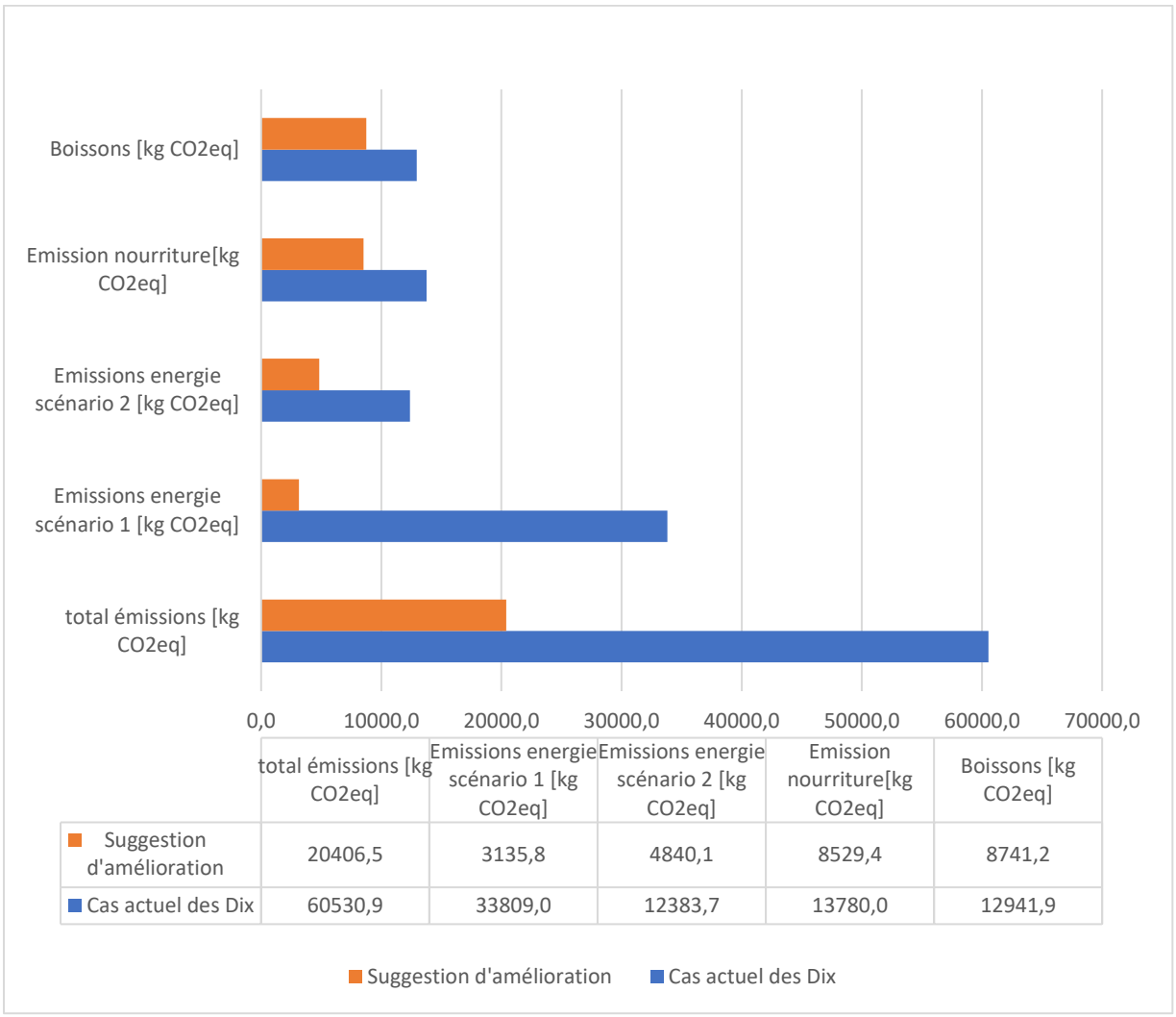
En Autriche, un projet pilote a été mené en 2017 à Zell am See pour transporter des marchandises à l'aide de drones, ce qui pourrait également être une option à considérer (Wissmann, 2019).

En Suisse, une initiative lancée en 2019 par l'organisation à but non lucratif « Protect Our Winters » vise à impliquer les alpinistes dans le transport d'une partie de la nourriture nécessaire à la préparation de leurs repas. Ces différentes approches ouvrent des perspectives de réflexion pour améliorer le ravitaillement et réduire l'impact environnemental (Gemperli, 2019).

6.3 SYNTHÈSES DES RECOMMANDATIONS

XIII. Comparaison des résultats

Dans ce chapitre, nous examinons en détail les solutions quantifiables pour analyser la possible réduction de l'empreinte carbone de la cabane des Dix.



	total émissions [kg CO2eq]	Emissions energie scénario 1 [kg CO2eq]	Emissions energie scénario 2 [kg CO2eq]	Emission nourriture[kg CO2eq]	Boissons [kg CO2eq]
Suggestion d'amélioration	20406,5	3135,8	4840,1	8529,4	8741,2
Cas actuel des Dix	60530,9	33809,0	12383,7	13780,0	12941,9

Figure 17 : Comparaison des émissions de GES entre le cas actuel des Dix et les suggestions proposées

Les résultats présentés ci-dessus ne prennent pas en compte la mobilité, car les suggestions se limitent à des pistes de réflexion ou à des réductions indirectes des émissions de la cabane. Toutefois, les améliorations proposées semblent, dans le meilleur des cas, réduire les émissions de CO2 d'un facteur 6 et en atteignant une émission de 1,7kg de CO2 équivalent par nuitée.

XIV. Analyse de faisabilité

Pour évaluer leur faisabilité, les différentes suggestions ont été notées sur une échelle de 1 à 5 en fonction de leur niveau de difficulté de mise en place. Le prix indiqué représente uniquement le CAPEX.

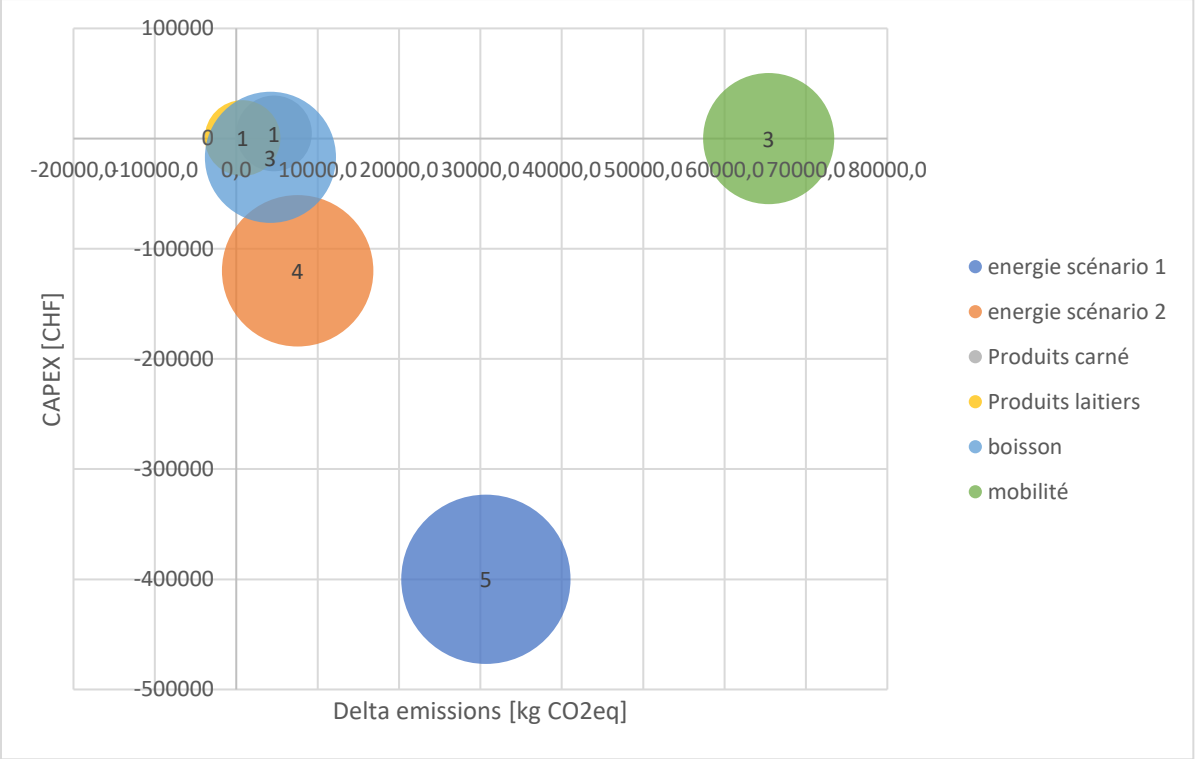


Figure 18: Représentation de la faisabilité des suggestions en fonction du CO2 économisé et du CAPEX

Le fonctionnement économique de la cabane a été détaillé dans la section 1.1.2. Les scénarios relatifs à l'énergie nécessitent un financement de la part de la section Monte Rosa. Le premier scénario requiert le plus gros investissement en CAPEX, avec un montant de 400'000 CHF nécessaire pour l'intégration d'un système de pile à combustible. L'OPEX associé à une telle installation s'élève considérablement, atteignant 65'000 CHF par an selon l'étude de faisabilité (De Kalbermatten Philippe et al., 2016). Bien que de tels coûts ne puissent être pleinement récupérés, ce scénario demeure celui qui permet la plus grande réduction de l'empreinte carbone de la cabane.

Le deuxième scénario énergétique présente un CAPEX estimé à environ 120'000 CHF, d'après les résultats de l'étude de faisabilité, avec un OPEX évalué à 20'000 CHF par an (calculs détaillés en Annexe: 9). L'OPEX associé au scénario 2 est inférieur à celui du système actuel, évalué à 24'000 CHF par an. En fonction de l'OPEX, le coût du kWh revient à 0,7 CHF/kWh, comparé à 0,86 CHF/kWh. En supposant que le prix du kWh reste constant avec la mise en

place du scénario 2, celui-ci pourrait être rentabilisé en 30 ans, correspondant à la durée de vie prévue des panneaux solaires installés.

Le scénario relatif aux boissons présente un faible CAPEX estimé à environ 17'000 CHF. Le système implique des coûts d'exploitation minimes, avec un remplacement de la membrane tous les 5 ans selon le fabricant (*Systèmes de distribution d'eau potable – Vuna*, s. d.). Le calcul de la VAN (Annexe: 10) affiche une valeur positive, ce qui suggère que l'investissement pourrait être potentiellement rentable.

Les scénarios relatifs à l'alimentation (produits carnés et produits laitiers) présentent la particularité de ne nécessiter aucun CAPEX ni OPEX. Ainsi, le Club Alpin n'a pas besoin d'intervenir pour la mise en place de ces scénarios. Ils permettent une réduction directe de l'empreinte carbone de la cabane et entraînent des économies financières.

Le dernier scénario présente des similitudes avec les précédents, n'exigeant pas de CAPEX mais impliquant un OPEX équivalent aux revenus générés. Dans ce cas, l'intervention du gardien n'est pas possible ; seule la section est en mesure de mettre en œuvre cette proposition d'amélioration.

6.4 SUGGESTION POUR LES CABANES EN GÉNÉRALES

Il est essentiel que toutes les cabanes adoptent un schéma similaire pour atténuer les effets du changement climatique. Dans un premier temps, la phase de construction doit privilégier des pratiques durables, en mettant l'accent sur une isolation et une étanchéité efficace, comme le préconise le guide de construction du CAS. Ensuite, il est crucial que la production d'énergie soit basée sur des sources renouvelables. Bien que les panneaux solaires photovoltaïques soient largement utilisés, il serait judicieux d'explorer le potentiel des panneaux solaires thermiques, des micro-turbines hydrauliques et des éoliennes pour rendre les cabanes énergétiquement autonomes.

Une attention particulière devrait également être portée à l'optimisation de la restauration, en proposant des menus complets à faible impact environnemental pour les randonneurs. Pour finir, il est primordial de promouvoir la mobilité durable afin de minimiser les conséquences du changement climatique.

7 INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS

7.1 INCERTITUDE ET LIMITES DE L'ÉTUDES

Les tableaux ci-dessous résument l'évaluation de la qualité des données utilisées dans cette analyse du cycle de vie. Cette évaluation repose sur deux aspects principaux : la fiabilité et la représentativité des données. La fiabilité concerne la précision de la quantification des flux tels que les matières premières, les matériaux, l'énergie, les distances de transport et les rejets. La représentativité se rapporte davantage à la validité géographique et technologique des données, ainsi qu'à la complétude des modules de données génériques sélectionnés.

En outre, la contribution potentielle de l'impact fait référence à l'importance du processus ou du paramètre évalué sur les résultats finaux. Les grilles d'évaluation présentées en **Error! Reference source not found.** définissent les critères de qualification utilisés dans les tableaux présentés dans cette section.

Tableau 23: Evaluation de la qualité des données

	Qualité des données		
Etape du cycle de vie	**Fiabilité des données**	**Représentativité**	**Contribution**
Construction	1	**3**	**0-5%**
Énergie	1	**2**	**0-5%**
Consommable	**1**	1	**0-5%**
Traitement déchet	**4**	**3**	**0-5%**
Mobilité	**3**	**2**	**51-100%**
Fin de vie	**4**	**4**	**0-5%**

Les données les moins fiables concernent le traitement des déchets, car elles reposent sur une étude qui considère la quantité de déchets par personne dans un hôtel, ainsi que la fin de vie, où seuls les matériaux de construction en bois ont été pris en compte et ont été estimés. Néanmoins, les impacts de ces processus sont si minimes qu'ils ne pourraient pas altérer la conclusion des résultats. Les données liées à la mobilité sont basées sur des statistiques, ce qui n'implique pas l'entièreté de la fiabilité. Une légère variabilité dans ce processus pourrait potentiellement

influencer les quantités, mais étant donné leur importance significative, les contributions des autres processus ne seraient pas affectées de manière conséquentes.

7.2 PERSPECTIVE D'AMÉLIORATIONS DE L'ÉTUDE

La fiabilité des données relatives au transport des usagers de la cabane est basée sur des statistiques, mais pourrait être améliorée en mesurant leur provenance et leur moyen de transport au moyen d'un questionnaire. Concernant les déchets, une mesure directe serait nécessaire afin de calculer leurs émissions réelles.

La constatation selon laquelle la nourriture est un émetteur important et que des solutions simples peuvent être mises en place pour réduire sa contribution au changement climatique suggère la nécessité d'examiner l'impact par menu.

La réalisation d'une étude de potentielle énergétique de la cabane, en vue de son autonomie permettrait de baisser considérablement son impact environnemental.

8 CONCLUSION

Au cours de l'année 2022, l'empreinte carbone de la cabane des Dix s'établit à 715 tonnes équivalent CO2, soit 0,133 tonne équivalent CO2 par personne. Parmi les principaux facteurs d'impact, la mobilité représente 89,7 %, les systèmes énergétiques 4,6 %, la consommation alimentaire et de boissons 3,8 %, la construction de la cabane 0,9 %, le traitement des déchets 0,9 % et la gestion de la fin de vie de la cabane 0,01 %. Dans une perspective comparative, en se référant à d'autres études portant sur les cabanes du Club Alpin Suisse, il est évident que la cabane des Dix présente des émissions supérieures à la moyenne, en raison notamment de ses systèmes énergétiques et de sa restauration.

Parmi les facteurs d'incertitude, la mobilité reste une source importante en effet elle se base sur des statistiques qui repose sur un échantillon de personne. La fin de vie ainsi que le traitement des déchets ne sont pas fiables car ils reposent sur des estimations provenant de revues scientifiques.

Diverses propositions ont été avancées afin de réduire considérablement l'impact environnemental de la cabane, pouvant atteindre un facteur 6 dans le scénario. Cela a pour effet de situer les émissions de gaz à effet de serre en dessous de la moyenne pour des cabanes similaires. Néanmoins, la sensibilisation des usagers reste l'approche la plus efficace pour accroître la durabilité de la cabane, en éveillant une prise de conscience individuelle.

Finalement, la cabane la plus respectueuse de l'environnement serait celle d'autrefois.

9 BIBLIOGRAPHIE

Agribalise. (2023). *Recherche Agribalyse*. https://agribalyse.ademe.fr/app

Andrée-Marie Dussault. (2020, février 6). *En haute montagne, des paysages idylliques pollués—Le Temps*. https://www.letemps.ch/suisse/tessin/haute-montagne-paysages-idylliques-pollues

Aree Prottete Alpi Marittime. (2020). *Nel Parco trasporti ai rifugi con i muli al posto dell'elicottero*. areeprotettealpimarittime.it. https://www.areeprotettealpimarittime.it/news/1209/nel-parco-trasporti-ai-rifugi-con-i-muli-al-posto-dell-u2019elic

Berne, S. F. (2021, janvier 26). *Electricité sans réseau, un luxe*. Club Alpin Suisse CAS. https://www.sac-cas.ch/fr/les-alpes/electricite-sans-reseau-un-luxe-26311/

Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.-M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghighi, S., Kounina, A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R. K., Roy, P.-O., Shaked, S., Fantke, P., & Jolliet, O. (2019). IMPACT World+ : A globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *24*(9), 1653-1674. https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0

Club Alpin Suisse (CAS). (2021). *Guide construction des cabanes CAS* (Club Alpin Suisse CAS). https://www.sac-cas.ch/assets_shop/1.d/files/2/4/24198af0_2211584_CAS_A5_Wegleitung_Huettenbau_fr_web.pdf

Club Alpin Suisse CAS. (2023, février 21). *Statistiques 2022 des cabanes du CAS*. Club Alpin Suisse CAS. https://www.sac-cas.ch/fr/cabanes-et-courses/sac-huettenstatistik-2022-40229/

Club Alpin Suisse (CAS). (2023, mai 4). *En route vers des cabanes encore plus durables*. Club Alpin Suisse CAS. https://www.sac-cas.ch/fr/cabanes-et-courses/en-route-vers-des-cabanes-encore-plus-durables-40964/

Confédération suisse. (2017). *Bases de calcul des équivalents essence et des équivalents essence d'énergie primaire dans le cadre de l'étiquette-énergie révisée*. https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/8432

De Kalbermatten Philippe, Moix Pierre-Olivier, & Rachel Bros de Pucheredon. (2016). *La Cabane H2.0 Stockage d'énergie sous forme d'hydrogène dans les sites isolés et optimisation de l'utilisation du renouvelable*. *1*, 61.

Engie. (2022, mai 16). *Quel poids de panneaux solaires peut supporter mon toit ?* https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/caracteristiques-panneaux-solaires/quel-poids-de-panneaux-solaires-peut-supporter-mon-toit.html

Gemperli, M. (2019). *Alimentation*. https://www.protectourwinters.ch/fr/notre-travail/alimentation/

Hug, F. (2019, septembre 16). *Cabanes du CAS et écologie—Une analyse sur l'ex. De la cabane Tschierva*. Club Alpin Suisse CAS. https://www.sac-cas.ch/fr/les-alpes/cabanes-du-cas-et-ecologie-une-analyse-sur-lex-de-la-cabane-tschierva-13588/

I. Sartori. (2007). Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings : A review article. *Energy and Buildings*, *39*(3), 249-257. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.07.001

Intact insurance. (2017). *Conseils relatifs aux génératrices de secours*. https://www.intact.ca/content/dam/intact/documents/loss-prevention/60135_EmergencyGenerator_FR.pdf

Jones, N. (2023). Fungi bacon and insect burgers : A guide to the proteins of the future. *Nature*, *619*(7968), 26-28. https://doi.org/10.1038/d41586-023-02096-5

Le Conseil fédéral. (2021). *Protection du climat : Le Conseil fédéral adopte la Stratégie climatique à long terme de la Suisse*. https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-82140.html. https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-82140.html

Margni, M. (s. d.). *Cours | Introduction à l'Analyse du Cycle de Vie—De la pensée à la pratique | edX*. Consulté 18 août 2023, à l'adresse https://learning.edx.org/course/course-v1:EPFLx+CycleVie1x+2T2018/home

McMichael, A. J., Powles, J. W., Butler, C. D., & Uauy, R. (2007). Food, livestock production, energy, climate change, and health. *The Lancet*, *370*(9594), 1253-1263. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61256-2

Office fédéral de l'agriculture OFAG. (2021). *Marché du beurre : Hausse des prix et recul des ventes*. https://www.blw.admin.ch/dam/blw/fr/dokumente/Markt/Marktbeobachtung/Milch/Marktberichte/mbm_09_2021.pdf.download.pdf/MBM_09_2021_f.pdf

Office fédéral de l'énergie. (2020). *La consommation de carburant et les émissions de CO2 des voitures de tourisme neuves ont nettement baissé en 2020*. https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiques.msg-id-84306.html

Pacheco-Torres, R., Jadraque, E., Roldán-Fontana, J., & Ordóñez, J. (2014). Analysis of CO2 emissions in the construction phase of single-family detached houses. *Sustainable Cities and Society*, *12*, 63-68. https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.01.003

Pajchrowski, G., Noskowiak, A., Lewandowska, A., & Strykowski, W. (2014). Wood as a building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings. *Construction and Building Materials*, *52*, 428-436. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.066

Pham Phu, S. T., Hoang, M. G., & Fujiwara, T. (2018). Analyzing solid waste management practices for the hotel industry. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *4*(1). https://doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.01.003

Proutat, J.-L. (2023). *Le prix du carbone européen au plus haut*. economic-research.bnpparibas.com. http://economic-research.bnpparibas.com/html/fr-FR/prix-carbone-europeen-haut-01/03/2023,48320?Lang=fr-FR&docid=48320

RTS.ch. (2018, février 13). *A bon entendeur—Le beurre et l'argent du beurre* [Broadcast]. rts.ch. http://pages.rts.ch/emissions/abe/9215867-le-beurre-et-l-argent-du-beurre.html

Simon Bradley. (2018, janvier 5). *Pourquoi la viande suisse est si chère*. SWI swissinfo.ch. https://www.swissinfo.ch/fre/economie/consommation-_radiographie-des-prix-de-la-viande-en-suisse/43768912

Sodhi, M., Banaszek, L., Magee, C., & Rivero-Hudec, M. (2022). Economic Lifetimes of Solar Panels. *Procedia CIRP*, *105*, 782-787. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.130

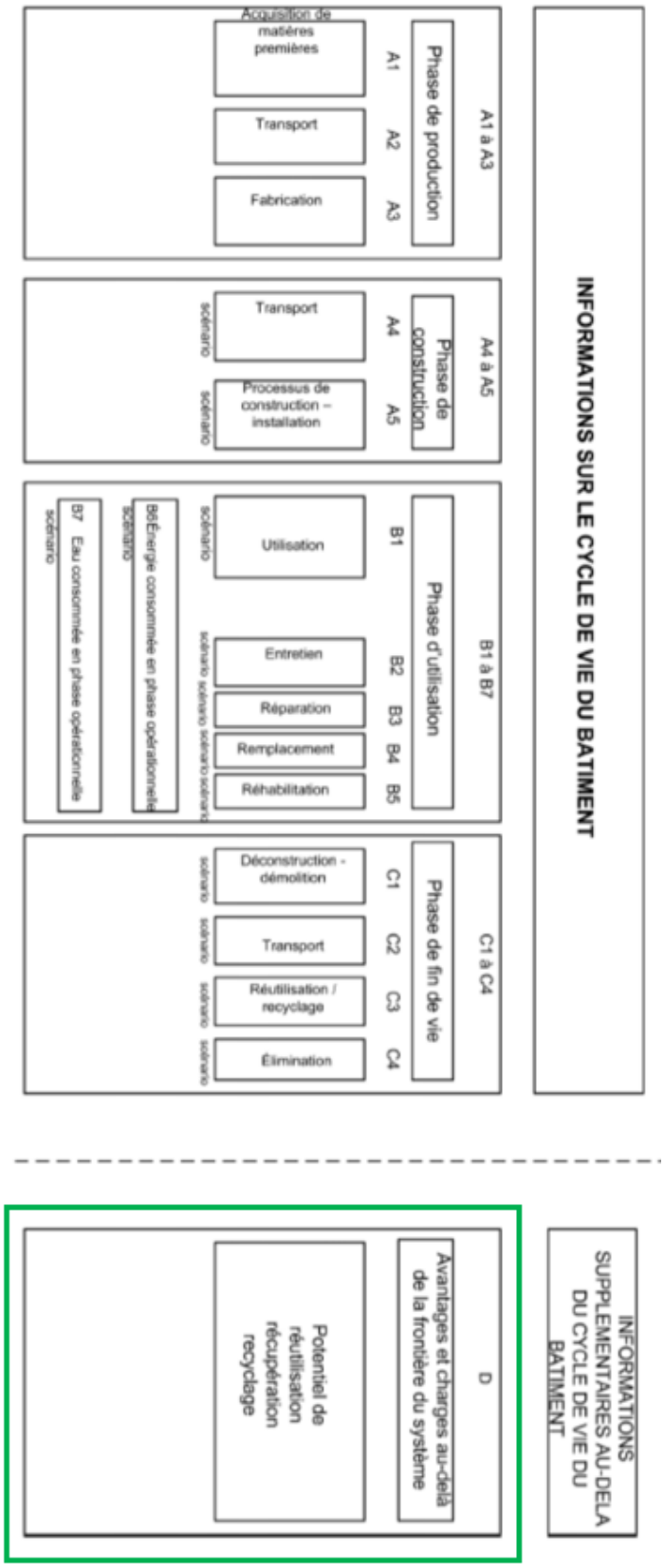
Systèmes de distribution d'eau potable – Vuna. (s. d.). Consulté 18 août 2023, à l'adresse https://vuna.ch/fr/home/systemes-de-distribution-deau-potable/

Union suisse des paysans. (2023). *Légumes—Union suisse des paysans*. https://www.sbv-usp.ch/fr/prix/vente-directe/legumes

Wissmann, R. (2019, juillet 23). *Les drones, amis et ennemis*. Club Alpin Suisse CAS. https://www.sac-cas.ch/fr/les-alpes/les-drones-amis-et-ennemis-3449/

10 ANNEXES

Annexe: 1 Représentation de la structure, norme EF EN 15978 ..... - 72 -
Annexe: 2 Paramètre clés et flux de référence de l'étude intermédiaire ..... - 74 -
Annexe: 3 Résultat global des émissions de gaz à effets de serre de la pré-étude..... - 74 -
Annexe: 4: Fichier Excel: paramètre clés, flux de référence & mapping ..... - 75 -
Annexe: 5 Plaquette signalétique de la génératrice..... - 75 -
Annexe: 6 Statistique sur la distance parcouru des randonneurs prise à partir des réservations- 76 -
Annexe: 7 Statistique sur le moyen de transport utilisé par les randonneurs pris à la Grande Dixence..... - 76 -
Annexe: 8 Chiffre d'affaire de la cabane des Dix en fonction des nuitées..... - 76 -
Annexe: 9 Calculs de l'OPEX du scénario 2..... - 77 -
Annexe: 10 Calculs de la VAN pour les boissons ..... - 77 -
Annexe: 11 Grille d'évaluation des critères de qualité de données et de contribution..... - 78 -

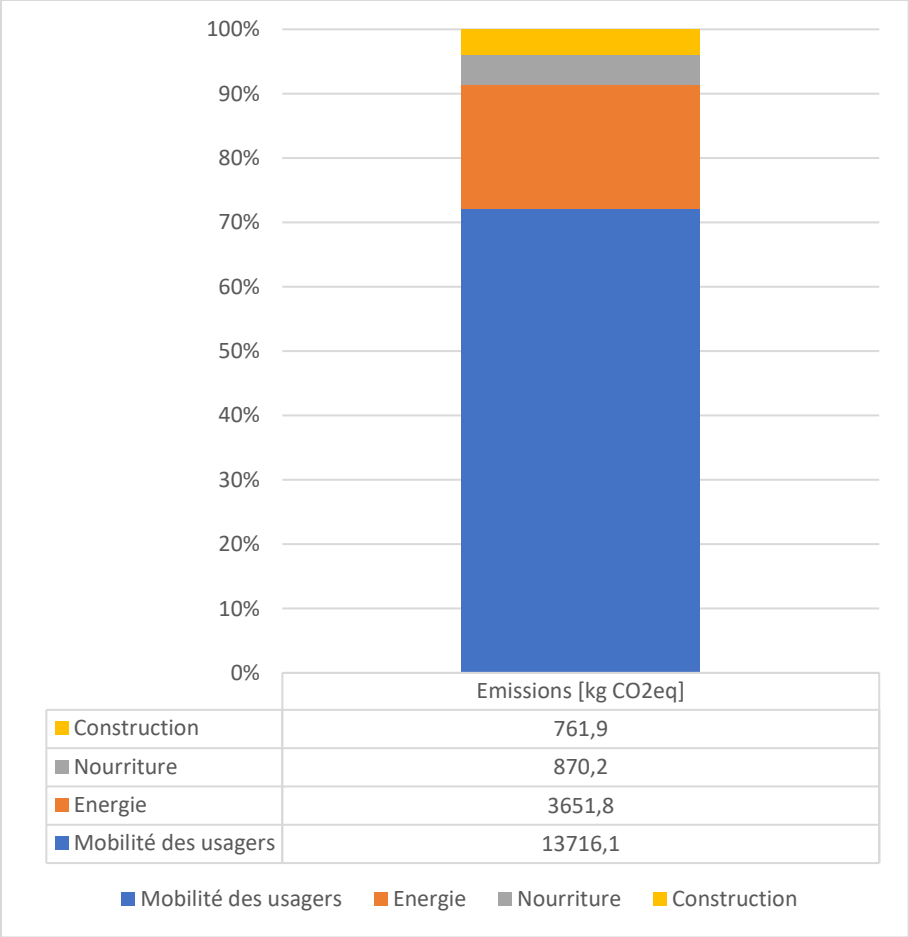


Annexe: 1 Représentation de la structure, norme EF EN 15978

Processus désagrégé	Type de flux	Flux		Nom process ecoinvent	Quantité	Unité
Construction	Flux intermédiaire sortant	Cabane construite en montage			1	Cabane
	Flux intermédiaire entrant	Transport	helicoptere	market for transport, helicopter	6,149126667	H/an
			Camion	market for transport, freight, light commercial vehicle	1085,14	ton*km/an
		Construction bâtiment		building construction, multi-storey	25,4772	m^3/an
		Fin de vie		treatment of waste building wood, chrome preserved, municipal incineration with fly ash extraction	21702,8	kg/an
Énergie	Flux intermédiaire sortant	Energie consommée pour 1an			1	énergie conso/an
	Flux intermédiaire entrant	Photovoltaïque		market for photovoltaic cell, multi-Si wafer	50	m^2
		Batterie		market for battery, lead acid, rechargeable, stationary	51,2	kg
		Génératrice		market for diesel-electric generating set, 10MW	0,05	Unité
		Diesel		market for diesel	81666	kg
		Transport	Hélicoptère	market for transport, helicopter	1,152883333	H
			camion	market for transport, freight, light commercial vehicle	203,45	ton*km
Nourriture	Flux intermédiaire sortant	Nourriture consommée pour 1an			1	Quanitité nourriture/an
	Flux intermédiaire entrant	Viande	Bœuf	cattle for slaughtering, live weight//[RoW] beef cattle production on pasture	429	kg
			Poulet	chicken for slaughtering, live weight//[GLO] chicken production	429	kg
			Veau	weaned calves, live weight//[RoW] market for weaned calves, live weight	429	kg
		Légume	Carotte	carrot//[GLO] market for carrot	650	kg
			Courgette	zucchini//[GLO] market for zucchini	650	kg
			Poivron	bell pepper//[GLO] market for bell pepper	650	kg
			Tomate	tomato, fresh grade//[GLO] market for tomato, fresh grade	650	kg
		Féculent	Patate	potato, organic//[CH] potato production, organic	650	kg
			Riz	rice, basmati//[GLO] market for rice, basmati	650	kg
		Eau	Eau potable	tap water//[CH] market for tap water	65000	kg
		Transport	helicoptere	market for transport, helicopter	19,886316667	H
			Camion	market for transport, freight, light commercial vehicle	3509,35	ton*km

	Flux intermédiaire sortant	Quantité transport			1	Quantité transport/an
	Flux intermédiaire entrant	Tpubli	Train	transport, passenger train//[CH] transport, passenger train, long-distance	182000	person*km
			Bus	transport, regular bus//[CH] transport, regular bus	78000	person*km
Transport		Tpriv	Voiture	transport, passenger car, EURO 4//[RER] market for transport, passenger car, EURO 4	390000	km

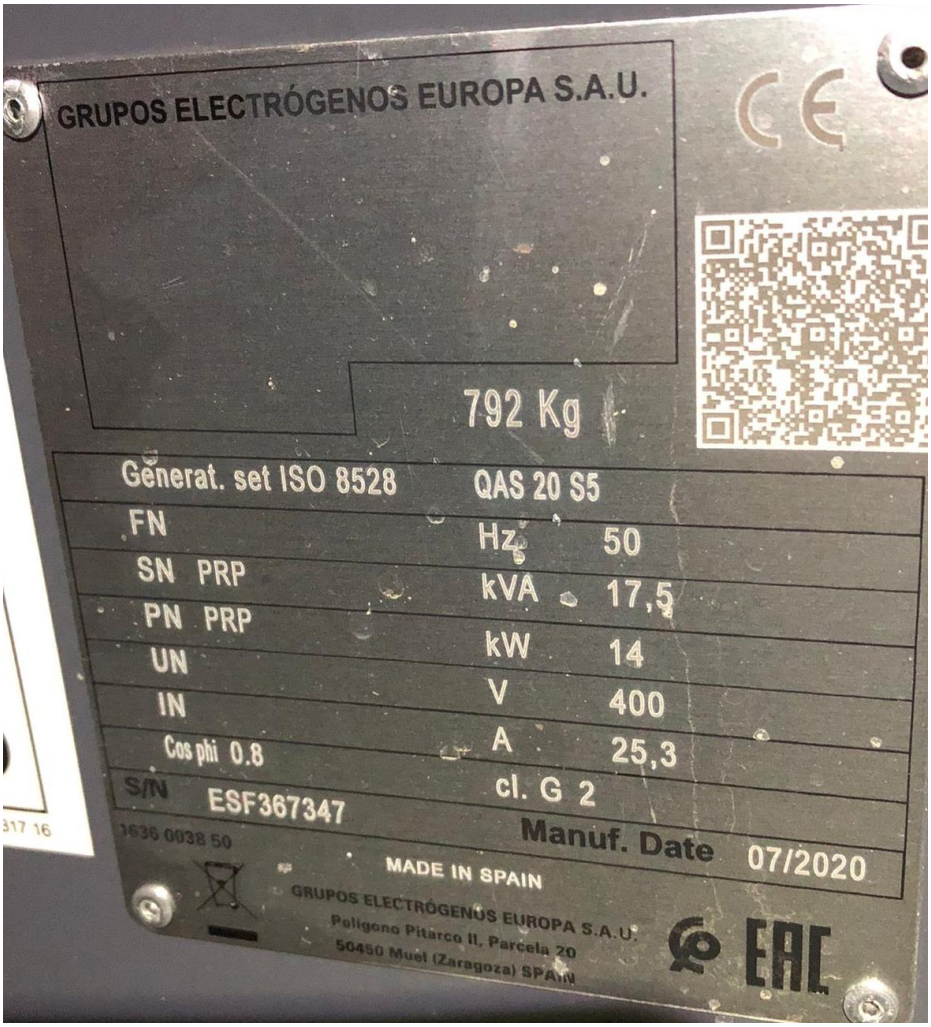
Annexe: 2 Paramètre clés et flux de référence de l'étude intermédiaire



Annexe: 3 Résultat global des émissions de gaz à effets de serre de la pré-étude

L’annexe est sous forme d’un fichier .XLSX sous le nom : Paramètre-clé_complet

Annexe: 4: Fichier Excel: paramètre clés, flux de référence & mapping



Annexe: 5 Plaquette signalétique de la génératrice

	Touriste Europe	Touriste hors Europe	Touriste Suisse	Total personne
Nombre de personne	280,0	75,0	700,0	1055,0
Ratio de personne	26,54028436	7,109004739	66,3507109	100
Km total parcouru	323589	1034525,54	284633,2	1642747,74
Km moyen/person	1155,675	13793,67387	406,6188571	5118,655908

Annexe: 6 Statistique sur la distance parcouru des randonneurs prise à partir des réservations

	Km total	Km voiture	Km co-voiturage	Km bus	Km train	Km avion	Km pied	Km moyen parcouru	Nombre de personne
Total	127161,6	0	29260	233,6	2336	95138	194	6692,715789	170
	100	0	23,0100911	0,183703256	1,837032563	74,8166113	0,152561678	100	100
Touriste Europe	28824,4	0	27370	58,4	1202	0	194	2058,885714	28
	100	0	94,954274485	0,202606125	4,170078128	0	0,673040896	30,76308302	16,47058824
Touriste hors-Europe	98337,2	0	1890	175,2	1134	95138	0	19667,44	8
	100	0	1,921958323	0,178162486	1,153174994	96,7467042	0	293,8633676	4,705882353
Touriste Suisse	29874	7546,4	14860	1505,6	5674	288	459,6	459,6	134
	100	25,26076187	49,742275079	5,039833969	18,99310437	0,964049006	1,538461538	6,867167447	78,82352941

Annexe: 7 Statistique sur le moyen de transport utilisé par les randonneurs pris à la Grande Dixence

	Membre	Membre jeune CAS	Non-membre	Enfant	Nuit gratuite	Total
Nuitée Cabane des Dix CAS	2753	167	1818	118	498	5354
Tarifications	78	68	93	73	0	-
Gains	214734	11356	169074	8614	0	403778

Annexe: 8 Chiffre d'affaire de la cabane des Dix en fonction des nuitées

Opex scénario 2	Prix	Type de données
Génératrice	1000	EF
Diesel	0	EF
Batterie	5000	EF
Onduleur	1332	EF
PV	3333	EF
Panneaux thermique	3470	Estimé
Gaz	5615	Calculé
Consommateur thermique	250	EF

Annexe: 9 Calculs de l'OPEX du scénario 2

	0	1	2	3	4	5
Capex	17000	0	0	0	0	0
Revenu	2940	2940	2940	2940	2940	2940
Opex	0	0	0	0	0	0
flux trésorie net	-14060	2940	2940	2940	2940	2940
van	-14060	2929,59992	2919,23663	2908,91	2898,619899	2888,366199
van total	484,7326485					
taux actualisation	0,00355	https://www.frequence-retraite.com/marches/indices-corporates-aa-au-30-12-2022/#:~:text=Pour%20terminer%20cette%20ann%C3%A9e%202022,'est%20cl%C3%B4tur%C3%A9%20%C3%A0%203.57%25.				

Annexe: 10 Calculs de la VAN pour les boissons

Score	Définition du score de fiabilité
1	Données vérifiées mesurées ou calculées sur le terrain. Cette donnée remplit le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude.
2	Données vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Données non vérifiées issues de mesures (documents fournis, par le mandataire ou littérature). Cette donnée est jugée suffisamment précise/fiable par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude.
3	Données non vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Estimation de qualité (effectuée par un expert). Cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa fiabilité/précision pourrait être améliorée.
4	Données estimées de façon grossière. Cette donnée ne remplit pas le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude.

Score	Définition du score de représentativité
1	Données de terrain (du cadre à l'étude), de laboratoire. Cette donnée remplit le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude.
2	Bonne représentativité géographique et/ou technologique du processus sélectionné. Cette donnée est jugée suffisamment représentative par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude.
3	Données relatives au même procédé ou matériau, mais se référant à une technologie différente (ex : processus représentatif disponible dans la banque Ecoinvent). Cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa représentativité pourrait être améliorée.
4	Représentativité géographique et/ou technologique inadéquate. La donnée n'est pas facilement accessible, utilisation d'un autre processus comme approximation. Cette donnée ne remplit pas le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude.

Score	Définition du score de contribution
0-5%	Contribution potentiellement faible ou négligeable
6-10%	Contribution potentiellement influente
11-50%	Forte contribution potentielle
51-100%	Très forte contribution potentielle

Annexe: 11 Grille d'évaluation des critères de qualité de données et de contribution

Documents Annexes

Club Alpin Suisse CAS
Club Alpino Svizzero
Schweizer Alpen-Club
Club Alpin Svizzer

Bilan CO_2 Cabane Arpitettaz - Résultats

1 Introduction

Le 21 novembre 2021, le Comité central a adopté la stratégie climatique du CAS, qui a pour objectif clair de réduire les émissions de CO_2 de l'ensemble de l'association à zéro net à partir de 2022 et ce d'ici à 2040 (www.sac-cas.ch/protecton du climat). La stratégie climatique du CAS prévoit des mesures dans dix axes, lesquels visent les activités de l'Association centrale, des sections et des adeptes de sports de montagne. Dans le cadre de l'axe « Exploiter les cabanes de manière climatiquement neutre », on a réalisé le projet pilote de bilan CO_2 des cabanes, auquel la Cabane Arpitettaz de la section La Dôle a participé. Ce rapport succinct résume les principaux résultats et vise à montrer aux équipes des refuges de montagne la pertinence des différentes activités. Il est ainsi possible de développer soi-même des mesures qui conduisent à une réduction des émissions.

2 Résultats

En 2021, la Cabane Arpitettaz a généré un total de 10'991 kg de CO_2-eq (illustration 1). La plus grande partie est due à l'approvisionnement des cabanes, aux vols héliportés et aux transports motorisés de et vers la plaine, contribuant chacun à 50%. En deuxième position, avec 21%, on trouve les émissions de la catégorie restauration & boissons. Les déchets et les produits de nettoyage de la catégorie divers représentent 4% des émissions. L'approvisionnement en énergie a généré, quant à lui, les 4% restants de l'ensemble des émissions. Seuls le chauffage et l'exploitation de la cuisine ont été pris en compte, et non la production d'électricité issue de l'installation photovoltaïque. La consommation de bois est un facteur déterminant.

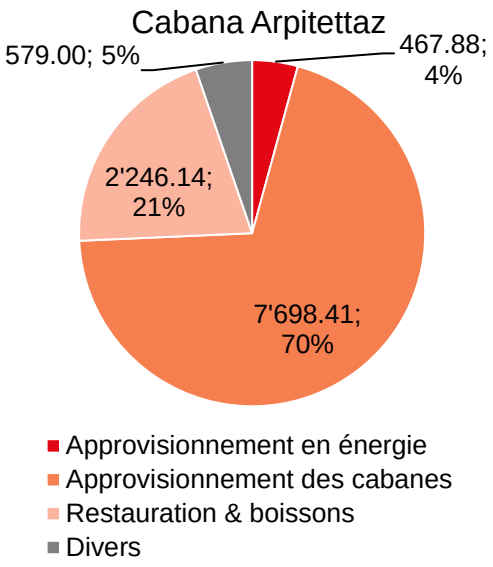


Illustration 1: Emissions totales relatives et absolues (kg CO_2-eq) de la cabane Arpitettaz réparties dans les quatre catégories approvisionnement de la cabane, approvisionnement en énergie, restauration & boissons et divers.

Les émissions de la restauration se répartissent par ordre décroissant entre boissons, produits laitiers, fruits & légumes, viande, pain & céréales et autres (illustration 2). Si l'on compare les émissions de ces catégories avec les quantités pondérées correspondantes, on peut identifier quelles denrées sont déterminantes (illustration 3). La viande, qui représente la proportion la plus faible en termes de quantité, a contribué à hauteur d'un facteur 3 aux émissions de CO_2. Il en va de même pour les produits laitiers (notamment le fromage et le beurre), lesquels génèrent trois fois plus d'émissions. La cabane Arpitettaz peut s'approvisionner en eau à une source, de sorte que toute l'eau consommée ne doit pas être héliportée. Les boissons représentent néanmoins la moitié de la quantité totale de denrées consommées. Les fruits et légumes, qui représentent la deuxième part la plus importante en termes de quantité, ont généré proportionnellement un tiers d'émissions en moins. Le pain et les céréales pèsent très peu dans la balance, tant en termes de quantité que d'émissions de CO_2. La catégorie « autres » comprend différents produits finis, comme la crème Stalden, mais aussi le lait en poudre. La transformation et l'emballage ont généré des émissions plus élevées que le rapport en poids de cette catégorie.

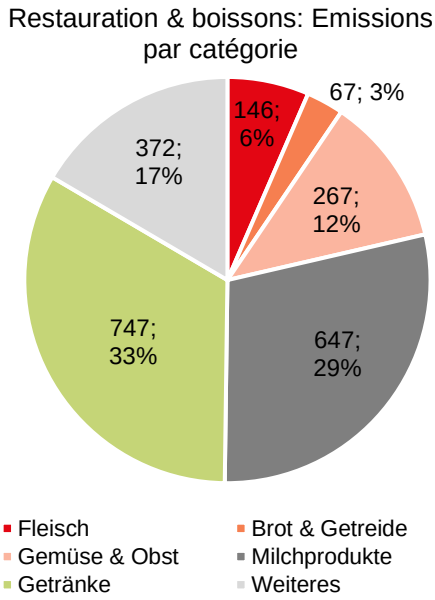


Illustration 2 : Emissions relatives et absolues (kg CO_2-eq) de la cabane Arpitettaz dans la catégorie restauration & boissons.

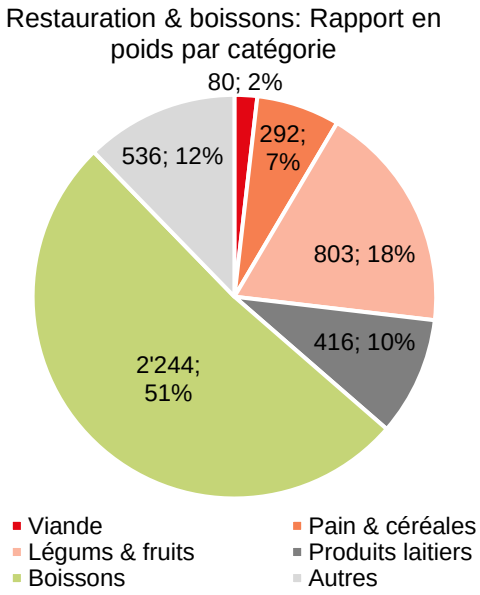


Illustration 3 : Répartition en poids absolu (kg) et relatif dans la catégorie restauration & boissons de la Cabane Arpitettaz.

3 Méthodologie & saisie des données

La cabane a enregistré les données durant l'été 2022 dans une grille de saisie mise à disposition par l'Association centrale du CAS. Les données ont été consignées dans les catégories approvisionnement en énergie, approvisionnement de la cabane, restauration & boissons et divers pour l'année 2021. La précision des données était globalement bonne, mais très variable sur certains points. La consommation d'électricité était notamment le plus souvent estimée sur la base de la puissance, mais pas mesurée. Pour cette raison et parce que cette part ne contribue que peu aux émissions totales, l'Association centrale du CAS a décidé de ne pas prendre en compte les émissions dues à la consommation d'électricité produite par la cabane elle-même. Pour la représentation du rapport en poids de la catégorie restauration, les kilogrammes et les litres ont été regroupés. Pour chaque quantité de produit, un facteur d'émission a été multiplié par l'unité CO_2-eq/unité (sources : mobitool 2020, ecoinvent, eaternity, OFEV, recommandation KBOB 2009/1:2022). L'évaluation des données a été effectuée par l'Association centrale du CAS. Un contrôle de plausibilité des résultats des neuf bilans de cabanes a été effectué par la société de conseil EBP Schweiz AG. Les données ont été vérifiées avec soin. Les données (quantités et facteurs d'émission) sont grevées d'incertitudes, lesquelles peuvent cependant être considérées comme acceptables dans la présente étude.
Le tableau 1 en annexe contient des informations de base relatives à la Cabane Arpitettaz, le tableau 2 dresse une comparaison avec les autres cabanes participantes et le tableau 3 présente les indicateurs pertinents des neuf bilans des cabanes.

10.05.2023

Annexe

Tableau 1 : Informations de base relatives à la Cabane Arpitettaz

Dernière transformation de la cabane	2015
Nombre de couchettes pour les hôtes	32
Nombre de couchettes pour le personnel	4
Nombre de nuitées en 2021	1’443
Nombre d’excursionnistes d’un jour en 2021	900
Production d'électricité	Solaire
Approvisionnement principal	Hélicoptère
Nombre de minutes de vol [heures de vol]	3.187
Alimentation en eau actuelle	Source, réservoir d'eau

Tableau 2 : Classement de la cabane Arpitettaz dans le projet pilote

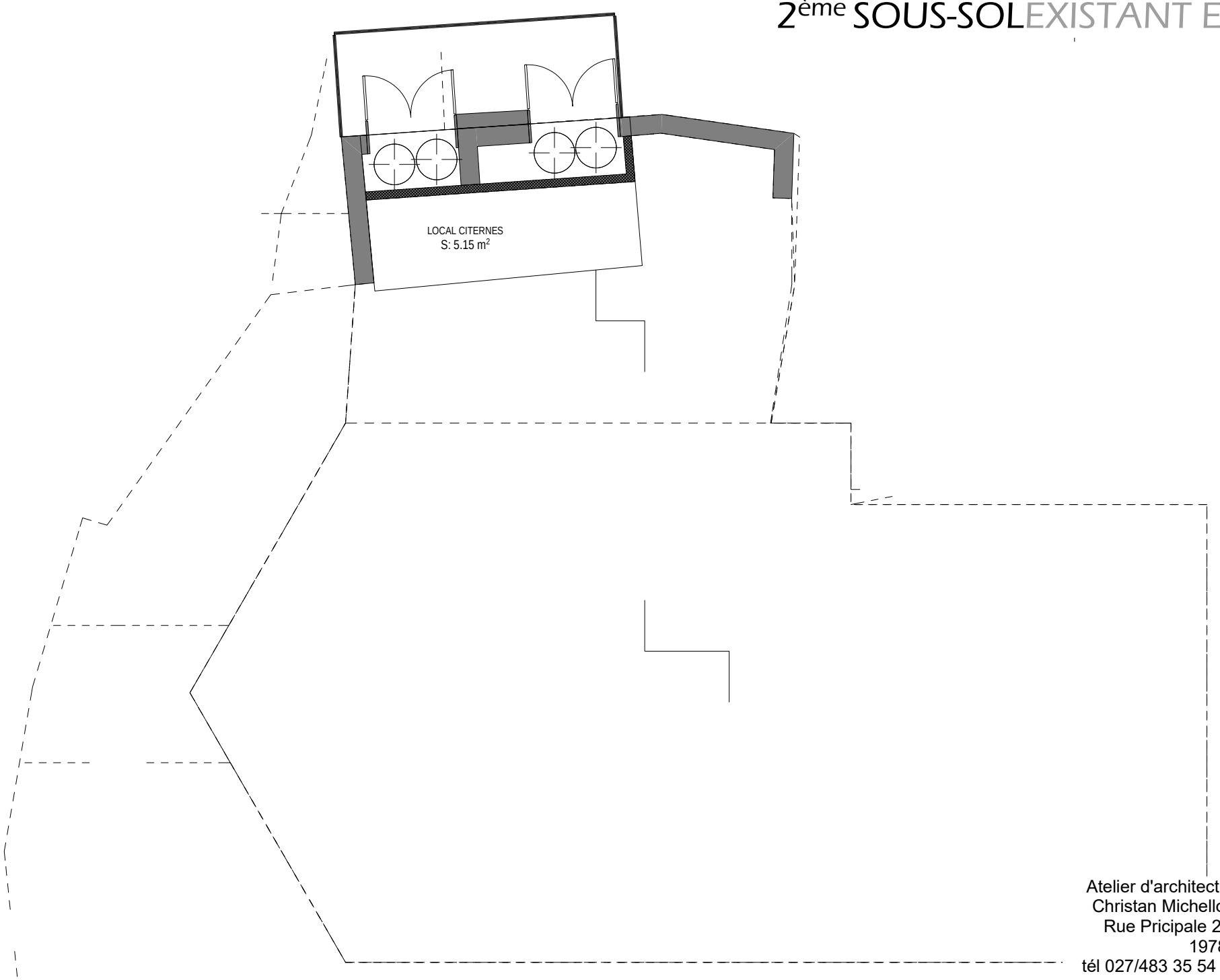
	Catégorie	**Cabane Arpitettaz**	**Moyenne de toutes les cabanes du projet pilote**
Emissions par personne hébergée		7,62 kg CO_2-eq	4,65 kg CO_2-eq
Emissions par hôte (hôte avec nuitée + excursionniste d'un jour)		4,69 kg CO_2-eq	3,91 kg CO_2-eq
Emissions par couchette		343,48 kg CO_2-eq	177,15 kg CO_2-eq
Approvisionnement en énergie	Chauffage / installations de cuisine	468 kg CO_2-eq (100%)	1'911 kg CO_2-eq (99.98%)
	Electricité	0 kg CO_2-eq (0%)	0.44 kg CO_2-eq (0.02%)
		468 kg CO_2-eq (4%)	*1’895 kg CO_2-eq (20%)*
Approvisionnement de la cabane	Hélicoptère	3’689 kg CO_2-eq (48%)	2'851 kg CO_2-eq (87%)
	Autres	4’009 kg CO_2-eq (52%)	669 kg CO_2-eq (13%)
		7’698 kg CO_2-eq (71%)	*3’596 kg CO_2-eq (38%)*
Restauration & boissons	Viande	146 kg CO_2-eq (6%)	512 kg CO_2-eq (16%)
	Pain & céréales	67 kg CO_2-eq (3%)	233 kg CO_2-eq (5%)
	Fruits & légumes	268 kg CO_2-eq (12%)	210 kg CO_2-eq (7%)
	Produits laitiers	647 kg CO_2-eq (29%)	813 kg CO_2-eq (26%)
	Boissons	747 kg CO_2-eq (33%)	1'011 kg CO_2-eq (33%)
	Autres	372 kg CO_2-eq (17%)	459 kg CO_2-eq (13%)
		2’246 kg CO_2-eq (20%)	*3’239 kg CO_2-eq (34%)*
Diverses	Produits de nettoyage	215 kg CO_2-eq (37%)	521 kg CO_2-eq (63%)
	Déchets	364 kg CO_2-eq (63%)	228 kg CO_2-eq (34%)
	Bureau / Marketing	0 kg CO_2-eq (0%)	44 kg CO_2-eq (3%)
		579 kg CO_2-eq (5%)	*792 kg CO_2-eq (8%)*
Proportion de menus végétariens (vegan compris)		82,9%	32,6% (sans la Chamanna Jenatsch)

Tableau 3, Indicateurs des neuf bilans des cabanes – Emissions en kg d'équivalents CO_2

Cabane	Emissions par nuitée	Emissions par hôte (total)	Emissions d'hélicoptères par nuitée	Emissions divers par place de couchage	Emissions divers par nuitée	Nuitées en 2021	g Viande par nuitée	L Boisson par nuitée	Approvisionnement en eau
Cabane Arpitettaz	7.62	4.69	2.56	18.09	0.40	1'443	57 g	1.5 L	Eau de source, réserve d'eau
Ø *médian*	*4.61* *4.59*	*3.86* *3.82*	*1.59* *1.27*	*13.27* *13.82*	*0.33* *0.31*	*2'037* *2'400*	*98 g* *84 g*	*1.34 L* *1.41 L*	
	4.59	3.77	1.73	9.15	0.33	1'381	105 g	1.4 L	Eau des glaciers
	5.93	5.39	2.21	0.14	0.005	950	105 g	1.5 L	Source, à 2km
	5.26	5.01	1.88	17.26	0.49	2'052	42 g	1.4 L	Eaux de fonte et eaux de surface
	3.48	2.45	1.25	6.17	0.15	2'400	52 g	0.7 L	Eau de source gratuite
	3.98	3.82	1.27	2.54	0.13	1'143	83 g	1.4 L	Eaux de fonte et eaux de surface
	4.78	4.71	0.64	26.43	0.58	3'539	241 g	2.3 L	Eau de pluie
	2.55	2.50	0.97	18.27	0.26	4'879	62 g	0.7 L	Eau de source, ruisseau
	3.15	2.32	0.64	13.82	0.36	2'770	81 g	0.9 L	Eau de source & eau de rivière
	5.52	2.76	3.29	12.76	0.26	6'002	109 g	1.5 L	Eau de surface, eau de pluie ou eau de fonte
	3.99	3.99	2.06	15.36	0.24	2'580	85 g	1.3 L	Eau de source, avion

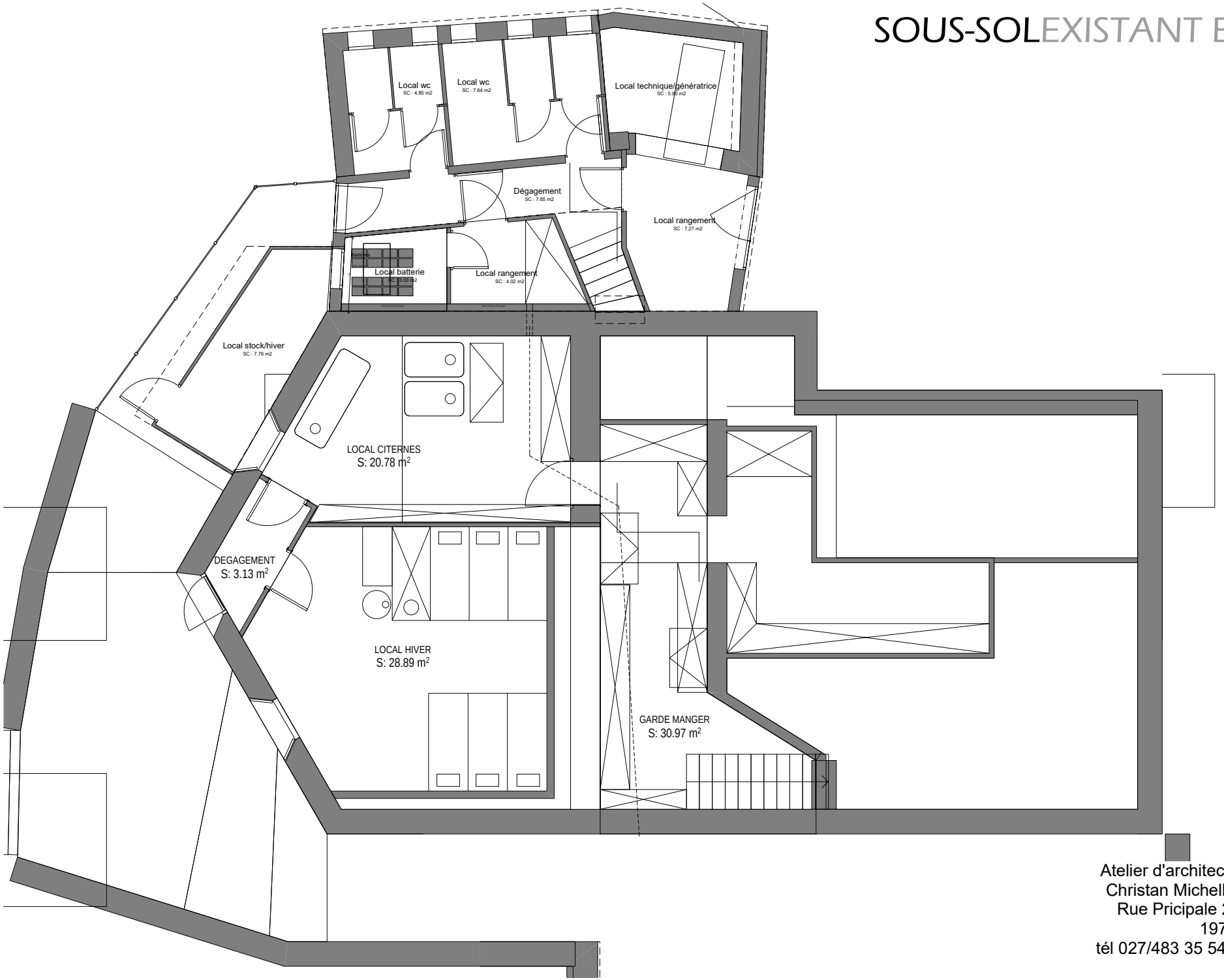
Club Alpin Suisse CAS
Monbijoustrasse 61, CP, CH-3000 Berne 14
+41 31 370 18 18, info@sac-cas.ch

2ème SOUS-SOL EXISTANT ECH. 1/100



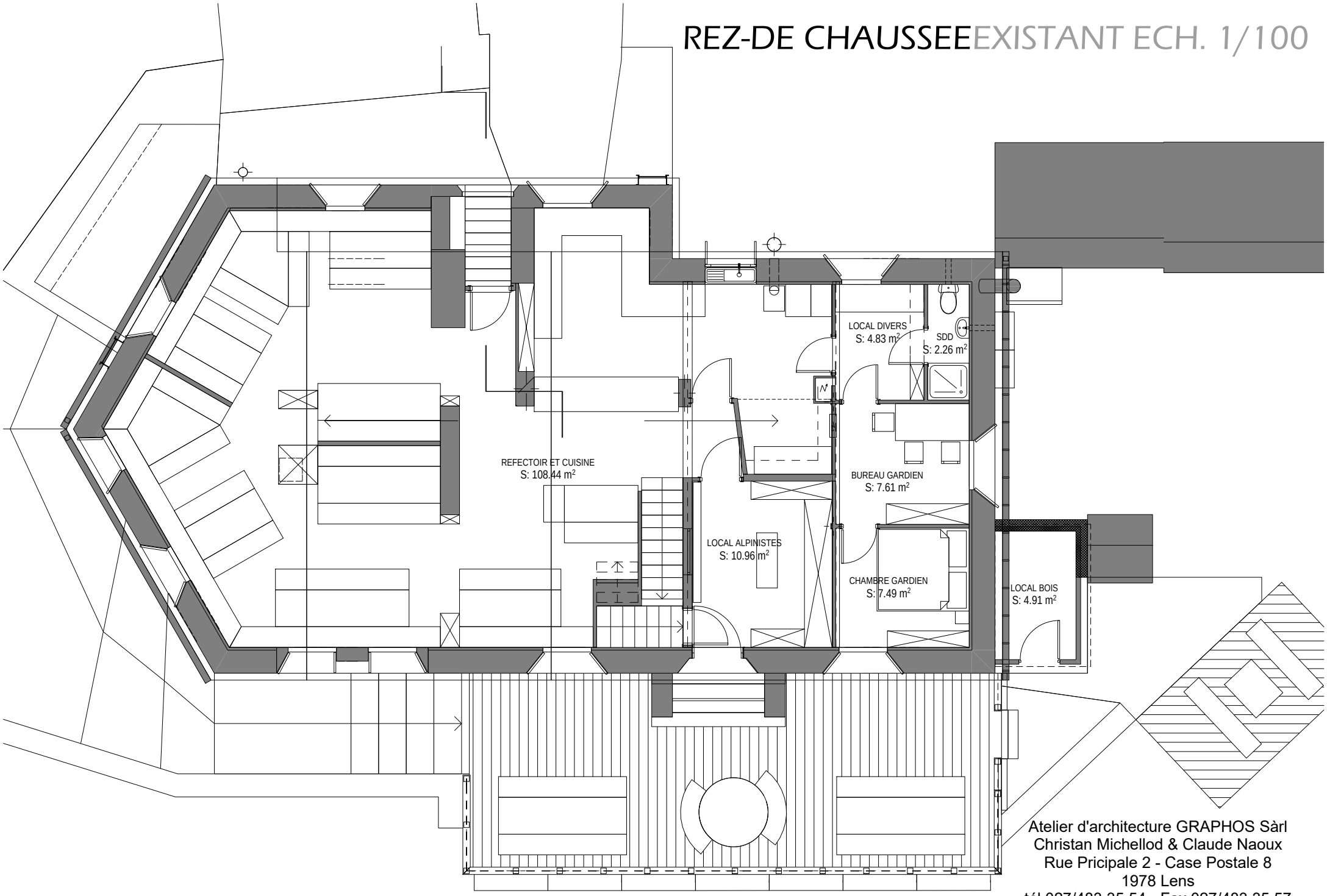
Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

SOUS-SOLEXISTANT ECH. 1/100



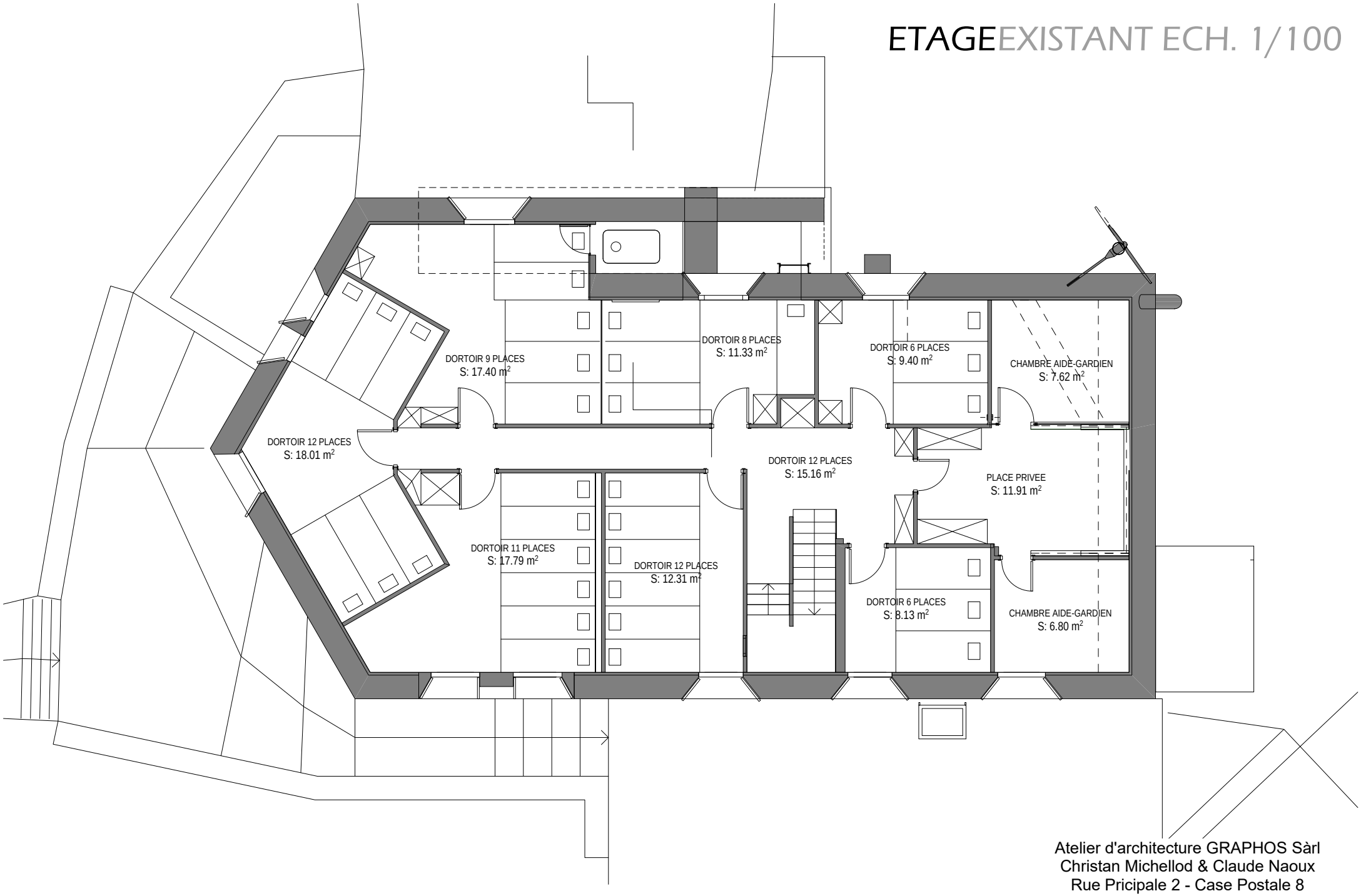
Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

REZ-DE CHAUSSEEEXISTANT ECH. 1/100



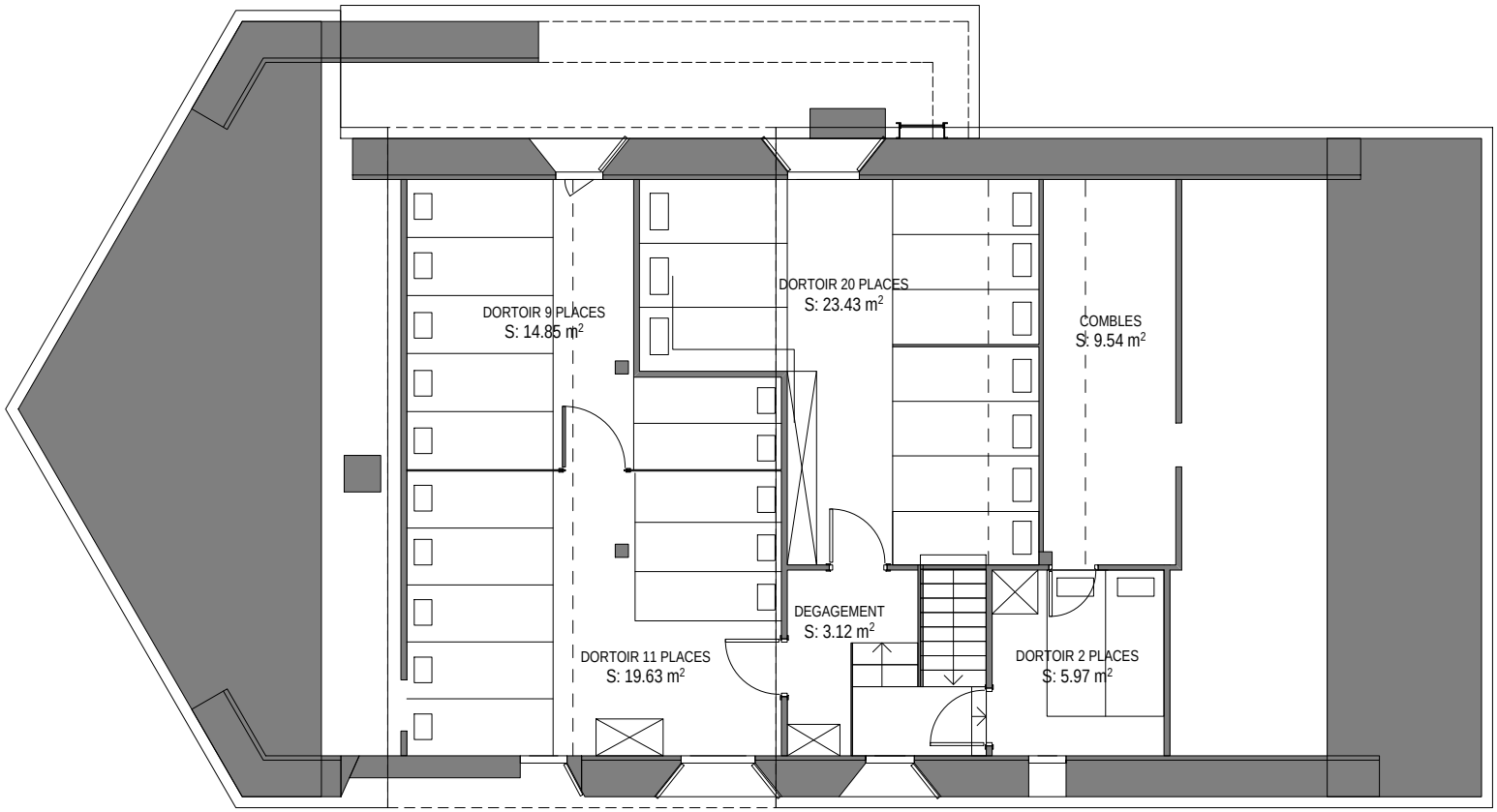
Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

ETAGEEXISTANT ECH. 1/100



Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

COMBLES EXISTANT ECH. 1/100



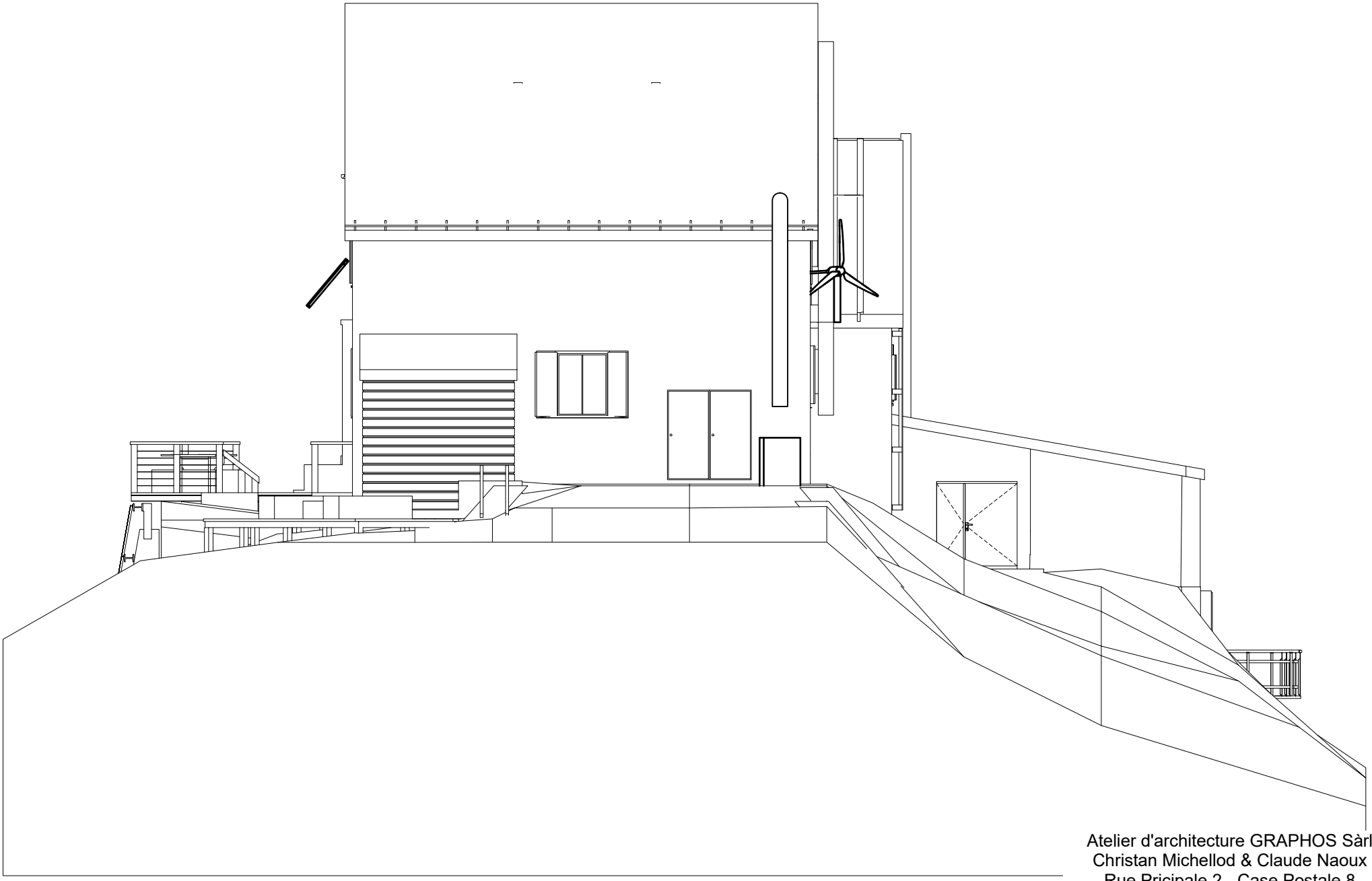
Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

FACADE SUDEXISTANT ECH. 1/100



Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

FACADE ESTEXISTANT ECH. 1/100



Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

FACADE NORDEXISTANT ECH. 1/100



Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57

FACADE OUESTEXISTANT ECH. 1/100



Atelier d'architecture GRAPHOS Sàrl
Christan Michellod & Claude Naoux
Rue Pricipale 2 - Case Postale 8
1978 Lens
tél 027/483 35 54 - Fax 027/483 35 57