

Document

Refuge du Goûter : solutions techniques mises en œuvre et problèmes de pollution rencontrés

Goûter hut: technical solutions implemented and pollution problems

Pierre STREMSDOERFER

Cabinet STREM, Bureau d'études fluides

Résumé

Le nouveau refuge du Goûter, situé à 3 832 m d'altitude sur une des voies d'accès principales au sommet du Mont-Blanc, et d'une capacité d'hébergement importante de 120 personnes, devait répondre à un programme ambitieux en termes de performances énergétiques, de respect de l'environnement, et de bilan carbone à 50 ans, aussi bien pour sa construction que pour son exploitation et sa déconstruction. Ces contraintes élevées ont nécessité la mise en œuvre de solutions techniques performantes, détaillées dans le présent article, et dont plusieurs sont des premières mondiales, en particulier pour le rafraîchissement du réfectoire, le traitement des eaux usées, la production d'eau et d'électricité. Dès la première saison d'exploitation (juin à septembre 2013 inclus), les performances énergétiques ont été conformes, voire supérieures aux prévisions : la production solaire d'eau mesurée en 2013 a été de 2 600 litres/jour par beau temps, à comparer aux 1 800 litres/jour demandés par le programme. Pour les 8 330 nuitées de l'été 2013, les consommations d'eau ont été de 158,8 m³, dont 157,8 m³ produits par le fondoir à neige, et 1 m³ hélicopté par précaution, suite à un incident. La couverture de la totalité des besoins thermiques et électriques du refuge en 2013, y compris ceux dus à la production d'eau et à l'assainissement, ont donné lieu à une consommation de carburant de 3,7 m³ de fioul seulement. Dès la première année d'exploitation, des problèmes de qualité d'air sont apparus :

- problèmes pour la production d'eau, dus à l'aspiration par le surpresseur d'eau froide d'emballages plastiques rejetés par les alpinistes autour du refuge ;
- problèmes d'odeurs, dus à la difficulté de faire fonctionner correctement l'évent du système d'assainissement à des températures extérieures très basses ;
- problèmes d'engorgement du système d'assainissement par des matières non biodégradables, certains alpinistes se servant des toilettes comme d'un vide-ordures !

Des solutions techniques à ces problèmes ont été trouvées. Le comportement des alpinistes, lui, sera plus long à faire évoluer...

Mots-clés

Refuge du Goûter, optimisation énergétique, pollution air extérieur, événement, qualité de l'air intérieur.

Abstract

The new Goûter hut, located at 3832 m high on one of the main routes to the summit of Mont-Blanc, with an important hosting capacity of 120 people, had to meet an ambitious program in terms of energy performances, environmental friendliness, and carbon footprint over 50 years, as well for its construction and its exploitation as for its demolition. These high constraints needed the implementation of advanced technical solutions, detailed in this article, many of which are world firsts, especially for the restaurant air conditioning, wastewater treatment, water production and electricity generation. The first season of operation (from June to September 2013 included), the energy performances have reached, and sometimes exceeded the targets: measured water solar production in 2013 has been 2600 liters per day for fine weather, compared to 1800 liters/day requested by the program. For the 8330 overnight stays of summer 2013, water consumption has been 158.8 m³, including 157.8 m³ products by the snow melter, and 1 m³ transported by helicopter as a precaution, following an incident. Covering all of the needs, heat and power, of the hut in 2013, including those due to the production of water and the treatment of wastewater, have resulted in a fuel consumption of 3.7 m³ only. From the first season of operation, air quality problems have emerged:

- *problems for water production, caused by the suction by the cold water booster pump of*

plastic packaging discarded by mountaineers around the hut;

- *odour problems, due to the difficulty to properly operate the vent of the sanitation facilities at very low outside temperature;*
- *congestion of the sewage treatment device due to non-biodegradable materials, some climbers using the toilets as a garbage disposal system!*

Technical solutions to these problems were found. The behavior of the mountaineers, it will take longer to evolve...

Keywords

The Goûter hut, energy optimization, outdoor air pollution, vent, indoor air quality.



Figure 1.

L'ancien et le nouveau refuge du Goûter.

Old and new Goûter hut.

1. Solutions techniques mises en œuvre au refuge du Goûter

1.1. La démarche de conception

Les sites isolés d'altitude recouvrent des réalités très diverses, conduisant à des solutions techniques très différentes, des plus simples aux plus sophistiquées, des plus courantes aux plus novatrices.

À chaque site, les solutions techniques les mieux adaptées sont spécifiques, mais la démarche de conception passe par des étapes incontournables :

- analyse du site : conditions climatiques, géométrie, géologie, ressources en eau ;
- analyse du programme et des objectifs à atteindre ;
- analyse des technologies disponibles ;
- éventuellement, adaptation de technologies existantes ou développement de nouvelles technologies ;
- définition des solutions possibles, compatibles avec le budget.

1.2. Les contraintes du site et du programme

Dans le cas du nouveau refuge du Goûter, les contraintes sont bien particulières :

Les contraintes du site, à 3 832 m d'altitude, sont sévères :

- des températures extérieures très basses, jusqu'à -30°C l'hiver, entre $+3^{\circ}\text{C}$ et -15°C l'été ;
- des rafales de vent pouvant atteindre 300 km/h ;
- une absence d'eau à l'état liquide ;
- 40 % de pression atmosphérique en moins, 40 % d'oxygène en moins par rapport au niveau de la mer.

La capacité d'hébergement est importante :

- capacité d'hébergement de 120 personnes et 6 gardiens, auxquels s'ajoutent également jusqu'à 130 personnes de passage au cours d'une journée ;
- une occupation très variable d'une journée à l'autre, selon les conditions météorologiques (maximale par beau temps, minimale par mauvais temps), et à l'intérieur d'une même journée (maximale la nuit, minimale dans la matinée, avec une remontée de l'occupation au cours de l'après-midi) ;
- dès la première saison d'exploitation (2013), le nombre de nuitées s'est élevé

à 8 330, en 4 mois, de juin à septembre.

Le programme établi par le CAF (Club Alpin Français) manifestait des ambitions élevées en termes de performances énergétiques, de respect de l'environnement (en particulier pour l'assainissement : ne rejeter dans l'environnement que des effluents liquides traités biologiquement, filtrés et stérilisés) et de bilan carbone à 50 ans, aussi bien pour la construction que pour l'exploitation et la déconstruction.

1.3. Les solutions mises en œuvre au refuge du Goûter

Ces contraintes ont nécessité la mise en œuvre de solutions techniques, dont plusieurs sont des premières mondiales :

1.3.1. Bâti

Le bâti est caractérisé par :

- la mise en œuvre systématique de matériaux recyclables et respectueux de l'environnement ;
- une structure en bois local, avec des éléments de moins de 550 kg facilitant l'héliportage (figure 2) ;

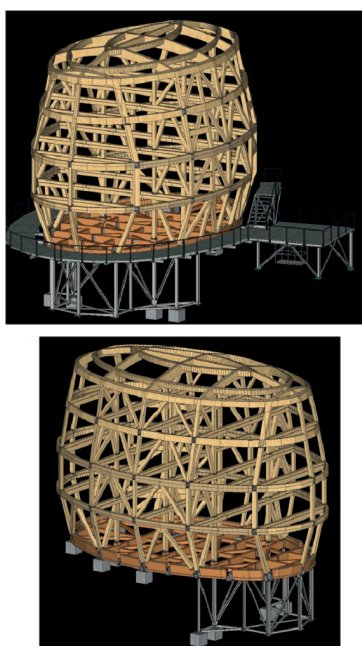


Figure 2.
La structure en bois du refuge.
The wood frame of the hut.

- une forme testée en soufflerie, adaptée à la violence des rafales de vent et favorisant le dépôt de neige sur le fondoir (figure 3) ;

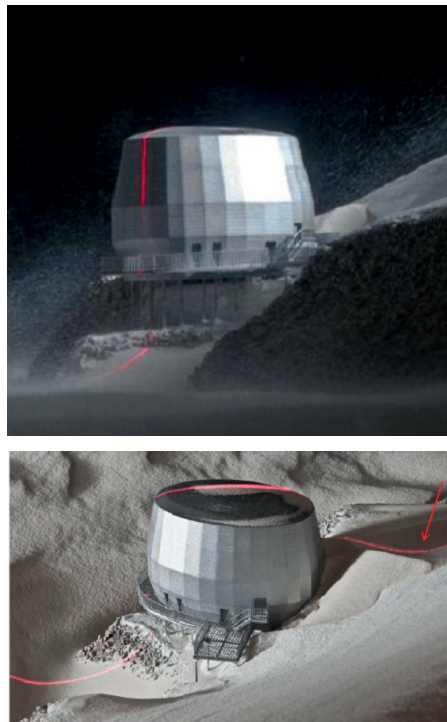


Figure 3.
Essais en soufflerie.
Wind tunnel tests.

Les rafales de vent soufflant à 300 km/h induisent sur les parois extérieures des pressions de 4 kN/m² et des dépressions de 6 kN/m² ;

- une isolation et une étanchéité très poussées :
 - le triple vitrage, faiblement émissif, doit avoir un coefficient thermique de transmission des fenêtres inférieur à 0,90 W/m² par degré Kelvin, exprimant la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ;
 - parois extérieures verticales avec un isolant en fibre de bois présentant un coefficient thermique de transmission du bois U inférieur à 0,142 W/m² par degré Kelvin ;
 - toiture avec un isolant en fibre de bois U = 0,139 W/m² K ;

- Plancher bas sur extérieur avec un isolant en fibre de bois présentant un coefficient thermique de transmission U_g inférieur à $0,188 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

1.3.2. La ventilation

Le refuge est équipé d'une VMC double flux à débit régulé en fonction de l'occupation, à partir d'une mesure du taux de CO_2 et de l'hygrométrie dans le réfectoire. L'air neuf, pris côté ouest, est préchauffé dans la CTA DF (Centrale de Traitement de l'Air, Double Flux), puis est insufflé au niveau 3. L'air est transféré du niveau 3 au niveau 2, puis transféré dans le réfectoire au niveau 1, repris par la hotte de la cuisine, filtré. Enfin, retourne à la CTA DF où il cède ses calories à l'air neuf, avant d'être rejeté côté est. Le rendement de récupération est de 80 %.

1.3.3. Chauffage et rafraîchissement

Le chauffage est assuré par des radiateurs pour le logement des gardiens, la cuisine, l'infirmerie et les locaux techniques. Le chauffage et le rafraîchissement sont assurés par des ventilo-convecteurs 4 tubes, pour la salle commune, avec, comme source de froid, le stock d'eau de fonte de la neige.

1.3.4. La production de chaleur

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

Ces capteurs solaires sont de fabrication spéciale, assurant la résistance au vent et permettant un fonctionnement dégradé en thermosiphon en cas de panne électrique.



Figure 4.
Capteurs solaires thermiques.
Solar thermal collector.

1.3.5. Les circuits hydrauliques

Le circuit solaire : les capteurs solaires thermiques alimentent en priorité le fondoir puis le ballon d'ECS (Eau Chaude Solaire), puis le ballon de stockage d'énergie qui est alimenté par le circuit solaire et le groupe de cogénération. Ce ballon de stockage d'énergie alimente les radiateurs, la centrale de traitement de l'air (double flux) et les ventilo-convecteurs, le ballon d'ECS.

1.3.6. La production d'eau

Elle est assurée par un fondoir à neige de 50 m^2 en inox constitué d'une peau supérieure en inox de 2 mm d'épaisseur, formée par un plateau de fonte et un serpentín soudé en sous face, avec isolation thermique, alimenté par les capteurs solaires thermiques. Le fondoir forme la toiture du local de stockage d'eau. Le réseau gravitaire d'évacuation du fondoir alimente le stock d'eau de fonte constitué de 8 réservoirs de 3 m^3 chacun.

1.3.7. La production d'électricité

Le système de production est constitué par trois éléments :

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

1.3.8. Le système d'assainissement

Il comprend :

- des WC à aspiration sous vide, permettant d'économiser l'eau (1,2 litre par chasse seulement, au lieu de 6 litres) ;
- une unité compacte de traitement biologique à filtration membranaire,

dérivée de technologies employées dans la marine (figure 5).

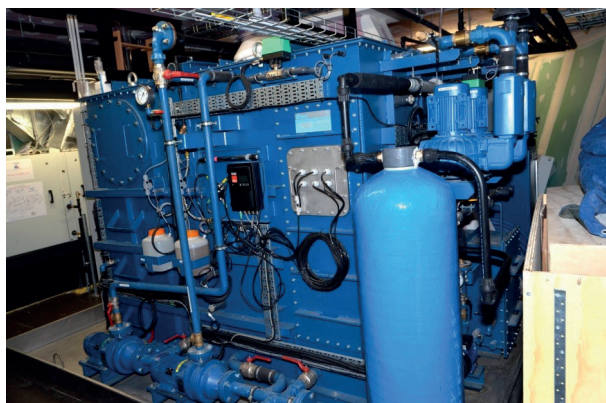


Figure 5.
Unité de traitement biologique.
Sewage treatment device.

La capacité de traitement est de 4 580 g DBO5/jour (demande biochimique en oxygène), pour un encombrement de 6 m² au sol seulement.

L'air nécessaire aux bactéries et au décolmatage continu des membranes est insufflé dans le compartiment digesteur au moyen de soufflantes haute pression, spécialement dimensionnées pour l'altitude du site.

1.3.9. Une supervision par GTC (Gestion Technique Centralisée)

Cette supervision permet en particulier le suivi du refuge depuis la vallée pendant les 8 mois d'inoccupation annuelle.

Elle permet l'acquisition et le stockage des données relatives à la température, l'hygrométrie et le taux de CO₂ dans chaque local.

1.4. Le bilan énergétique et le bilan carbone prévisionnel

Les besoins énergétiques se répartissent comme suit :

- la production de l'eau par la fonte de la neige représente 55 % des besoins thermiques annuels ;

- le traitement des eaux usées représente 43 % des besoins électriques annuels.

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

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

Le bilan carbone sur 50 ans : compte tenu des matériaux recyclables employés et des solutions énergétiques mises en œuvre, le bilan carbone sur 50 ans établi par le cabinet ALBEDO est extrêmement favorable.

L'exploitation du refuge sur 50 ans donne lieu au bilan carbone suivant :

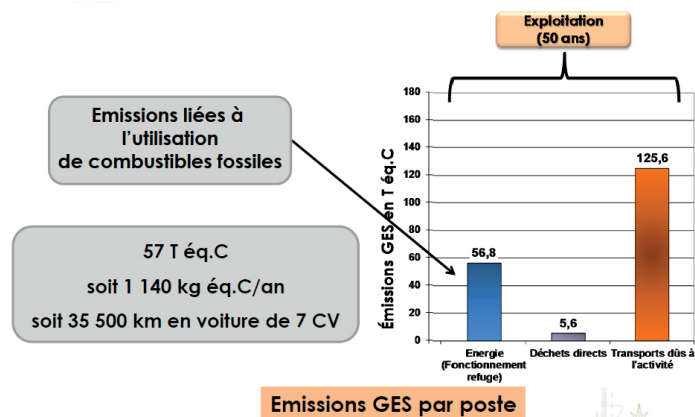


Figure 6.
Émissions de GES pour 50 ans d'exploitation.
GHG emissions over 50 years of operation.

L'énergie fossile pour le fonctionnement du refuge (fonctionnement du groupe de cogénération) n'est que de 57 Tonnes d'équivalent Carbone (Téq.C.), soit 1 140 kg eq.C/an.

La plus grosse part des émissions, 126 Téq.C., correspond aux héliportages nécessaires à l'exploitation du refuge.

Le total construction/déconstruction, exploitation sur 50 ans donne lieu au bilan carbone suivant :

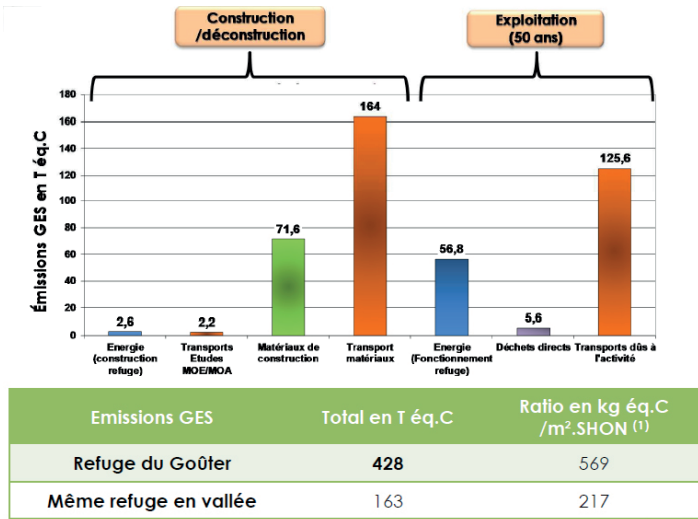


Figure 7.

Bilan carbone total construction/déconstruction, exploitation sur 50 ans.

Carbon footprint over 50 years (construction + operation + deconstruction).

La plus grosse part des émissions pour la construction/déconstruction du refuge est relative au transport des matériaux par hélicoptère.

1.5. Les résultats de la première année d'exploitation (2013)

Pendant la période d'ouverture du refuge, de juin à septembre, la production solaire d'eau mesurée en 2013 a été de 2 600 litres/jour par beau temps, à comparer aux 1 800 litres/jour demandés par le programme.

Pour les 8 330 nuitées de l'été 2013, les consommations d'eau ont été de 158,8 m³, dont 157,8 produits par le fondoir, et 1 m³ hélicopté par précaution, suite à un incident.

La couverture de la totalité des besoins thermiques et électriques du refuge en 2013, y compris ceux dus à la production d'eau et à l'assainissement, a donné lieu à une consommation de carburant de 3,7 m³ de fuel seulement.

Pendant la période de fermeture du refuge, au cours de l'hiver 2013-2014, le refuge a fonctionné de manière entièrement automatique, uniquement avec l'énergie solaire.

Pour des températures extérieures qui sont descendues à -28 °C, la température dans les locaux techniques n'est jamais descendue en dessous de -8 °C, ce qui est favorable à la bonne conservation des batteries électriques.

2. Problèmes de pollution rencontrés

Dès la première année d'exploitation (2013), les résultats obtenus ont été extrêmement satisfaisants. Par contre, certains problèmes inattendus de pollution de l'air sont apparus.

2.1. Problèmes affectant la production d'eau

Au cours de l'été 2012, lors de la phase de mise en service et de réglage des installations, le nouveau refuge n'était pas ouvert au public. Les cordées étaient hébergées dans l'ancien refuge et passaient à distance du nouveau refuge. Les essais de fonctionnement de la production d'eau n'ont donné lieu à aucun incident.

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

Il n'était bien sûr pas envisageable d'installer une filtration à l'aspiration du surpresseur, ce qui aurait provoqué un risque de cavitation. La parade a été rapidement mise en place :

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

Cette parade s'est immédiatement avérée efficace mais, un mois plus tard, un nouvel incident est survenu. La vigilance des gardiens s'était relâchée : ils avaient laissé s'écouler une semaine sans vider les seaux qui ont débordé en entraînant les déchets plastiques. Par la suite, le respect des consignes de nettoyage des seaux perforés a réglé définitivement le problème.

Cette forme de pollution de l'air extérieur, à 3 832 m d'altitude, était inattendue. Certaines cordées, à proximité du refuge du Goûter, rejettent malheureusement leurs emballages plastiques dans l'environnement extérieur à proximité du refuge.

Ces emballages plastiques sont disséminés par le vent et se retrouvent en partie dans le fondoir à neige.

2.2. Problèmes affectant le fonctionnement de l'évent

Dans le cas présent, la pollution de l'air est la conséquence et non la cause du dysfonctionnement. Dans les installations classiques de plomberie, le bon fonctionnement des réseaux d'évacuation est conditionné par le bon fonctionnement des événements de mise à l'atmosphère et des clapets casse-vide. Dans le cas du refuge du Goûter, des soufflantes introduisent de l'air en partie basse du compartiment digesteur de l'unité de traitement biologique, pour apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries. Le bon fonctionnement de l'évent est donc particulièrement critique : son obturation provoque aussitôt la mise en pression des réseaux d'évacuation et, en conséquence, la diffusion d'odeurs désagréables dans l'ensemble du refuge, la garde d'eau des siphons n'étant pas suffisante pour contrebalancer la pression des soufflantes.

Le traitement satisfaisant de la sortie à l'extérieur d'un événement parcouru par de l'air chaud et humide n'est pas aussi simple qu'il y paraît, à 3 900 m sur l'arête du Goûter, même avec un traçage électrique et une isolation thermique de la canalisation d'évent jusqu'à son orifice de sortie... Lors des essais de mise en service sans présence de public fin 2012, aucun problème ne s'était manifesté. La sortie de l'évent se trouvait à 4 m au-dessus du niveau du névé. En juin 2013, dès la première semaine d'ouverture, des odeurs désagréables sont apparues dans tout le refuge. Pendant l'hiver, le névé s'était développé

en direction de la plate-forme d'hélicoptage du refuge, et la sortie de l'évent se retrouvait à 2 mètres en-dessous du niveau du névé, complètement obturée.

Cet incident a nécessité une intervention d'urgence dans le vide sanitaire sous le refuge pour dévoyer la canalisation d'évent, de manière à amener son orifice au-dessus d'une hauteur de vide importante. La situation dans le refuge est aussitôt redevenue satisfaisante.

Après quelques jours de fonctionnement, un autre phénomène s'est manifesté : avec le nouvel emplacement de l'orifice de l'évent, les vents dominants remontant de la vallée tournaient autour du refuge et ramenaient les mauvaises odeurs du côté de la façade opposée, au niveau de la porte d'entrée du refuge et de la passerelle face à la vue sur le glacier de Bionnassay. Cela ne pouvait évidemment pas rester en l'état. Ce problème a été résolu par l'installation d'un conduit vertical en inox, non calorifugé, raccordé en partie basse au tube d'évent, avec un té d'évacuation des condensats, tracé et calorifugé.

En juin 2014, dès la première semaine d'ouverture, des odeurs désagréables se sont de nouveau manifestées dans tout le refuge. Lors du déneigement du vide sous le refuge, les ouvriers avaient arraché le câble d'alimentation du traceur électrique de l'évent, qui était pris en glace. Le temps de détecter le problème, d'en identifier la cause, de programmer l'intervention des électriciens sur le site, le refuge a connu 10 jours d'inconfort.

Ce problème d'évent est donc réglé, avec la consigne d'exploitation suivante : tous les 2 jours, il faut donner un coup de piolet sur la stalactite de glace qui se forme inmanquablement à l'orifice de sortie des condensats.

2.3. Problèmes affectant le fonctionnement de l'unité d'assainissement

La pollution de l'air est, là encore, la conséquence et non la cause du dysfonctionnement.

2.3.1. Fonctionnement en 2013

En montagne, il est une tradition : tout alpiniste digne de ce nom redescend dans la vallée ses détritits dans son sac. C'est la raison pour laquelle, dans l'ancien refuge du Goûter, il n'était pas mis de poubelles à la disposition du public. Néanmoins, certains clients, dans l'ancien refuge, avaient une imagination débordante pour cacher dans le moindre recoin les emballages et détritits dont ils souhaitaient s'alléger. Le CAF a donc souhaité que, dans le nouveau refuge, les recoins soient évités. L'équipe d'ingénierie a donc œuvré dans ce sens. Or, dès l'ouverture du refuge en 2013, certains utilisateurs ont parfaitement compris le parti qu'ils pouvaient tirer de la capacité d'évacuation des WC à aspiration sous vide, très supérieure à celle de WC ordinaires.

Ils se sont donc servis des WC comme d'un vide-ordures...

Cela a provoqué des engorgements périodiques de l'unité d'assainissement par des quantités considérables de matières non biodégradables : emballages de barres de céréales, de médicaments, pochettes plastiques de boissons, plastiques divers, et même un gilet en polaire, et surtout, majoritairement, des lingettes, fabriquées avec du PET recyclé, qui résistent aux pompes dilacératrices et les bloquent.

À la fin de la saison 2013, c'est plus de 1,5 tonne de déchets plastiques non biodégradables qu'il a fallu sortir de la machine (figure 8), et il n'y avait plus qu'une membrane opérationnelle sur 4.



Figure 8.
Déchets non biodégradables extraits de l'unité d'assainissement (2013).

Non-biodegradable waste extracted from the sewage treatment unit.

On peut imaginer les conditions olfactives de travail qui ont accompagné, en 2013, l'extraction manuelle de kilos, et en fin de saison, de tonnes de lingettes imprégnées de matières fécales...

2.3.2. Fonctionnement depuis 2014

Le retour d'expérience de 2013 a conduit le CAF, à regret, (« l'irresponsabilité de certains conduit à la déresponsabilisation de tous ») à décider la mise à disposition du public de poubelles, avec le service d'hélicoptage que cela implique, et à améliorer la signalétique interdisant le rejet de détritits dans les WC. Un dispositif dégrilleur en inox sur glissières a été également installé à l'entrée de l'unité d'assainissement pour arrêter les lingettes. Depuis, en dépit de toutes ces précautions, le comportement des usagers fait qu'il reste nécessaire d'ouvrir une fois par semaine le tampon au droit du dispositif dégrilleur pour sortir les lingettes recueillies. Mais les pompes dilacératrices ne se bloquent plus, et l'unité d'assainissement fonctionne de manière satisfaisante.

Il était cependant souhaitable de mesurer les concentrations en H_2S et NH_3 dans la salle des machines pour définir les précautions à prendre lors des interventions pour sortir les lingettes de l'unité d'assainissement.

Les mesures que le CAF a fait réaliser par TERA Environnement en juillet 2014 dans la salle des machines ont donné les résultats suivants :

	Concentration $\mu g/m^3$				
	VME	VLE	Seuil olfactif	Mesures	LQ
H_2S	7000	14000	11	50,9	6,0
NH_3	7000	14000	350	4660	158

VME : Valeur Moyenne d'Exposition (sur 8 h) (limite haute à ne pas dépasser)

VLE : Valeur d'exposition court terme (15 min) (limite haute à ne pas dépasser)

LQ : Seuil de quantification

Tableau 1.
Concentration en H_2S et NH_3 dans la salle des machines.

H_2S and NH_3 concentration in the engine room.

Les résultats sont donc nettement inférieurs aux valeurs réglementaires. Il n'en demeure pas moins vrai que les interventions hebdomadaires pour sortir les lingettes de la machine demeurent fort peu agréables pour le personnel.

3. Conclusion

Les problèmes liés à la qualité de l'air, rencontrés en phase de démarrage au refuge du Goûter, illustrent le dicton qui a cours dans les bureaux d'études : « le diable se cache dans les détails ». Vous pouvez résoudre des problèmes complexes, atteindre des objectifs ambitieux, ce sont parfois les problèmes triviaux qui s'avèrent les plus gênants et malaisés à régler, en période de démarrage. Le refuge du Mont Rose a mis 5 ans avant d'avoir un fonctionnement optimal. On peut être optimiste pour le refuge du Goûter... sans perdre de vue que, parfois, le diable se cache dans les usagers eux-mêmes...