



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Cleantech

Rapport final du 06 Novembre 2018

SMART SKI RESORT

Plateforme de gestion énergétique pour les exploitants de domaine skiable





Date : 06/11/2018

Lieu : Sembrancher

Prestataire de subventions :

Confédération suisse, représentée par
L'Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme pilote, de démonstration et Programme-phare
CH-3003 Berne
www.ofen.admin.ch

Bénéficiaires de la subvention :

SIMNET SA

La Place 28, 1933 Sembrancher
www.simnetsa.ch

HES-SO Valais/Wallis - institut d'informatique
de gestion &
Techno-Pôle, 3960 Sierre
www.hes-so.ch

Institut de recherche Icare eEnergy Center
Techno-Pôle, 3960 Sierre
www.eenergycenter.ch

Centre de Recherches Energétiques et
Municipales (CREM)
Av. du Grand-Saint-Bernard 4, 1920 Martigny
www.crem.ch

Association des Remontées Mécaniques
Valaisannes R.M.V.
Postfach 648, 3900 Brig

Auteurs :

Thomas GRANGE, SIMNET SA, tgrange@simnetsa.ch

Direction du programme de l'OFEN : Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch

Suivi du projet pour l'OFEN : Urs Meuli, urs.meuli@bfe.admin.ch

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/501465-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions de ce rapport.

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, 3063 Ittigen, Adresse postale : 3003 Berne
Tél. +41 58 462 56 11 · fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.ofen.admin.ch



1. Résumé

L'exploitation d'un domaine skiable nécessite une infrastructure technique importante (remontées mécaniques, bâtiments, gestion de la neige, etc), engendrant des dépenses énergétiques multifluides notables (électricité, mazout, etc.). L'étendue d'un domaine présente aussi un potentiel important d'énergies renouvelables (mini hydraulique, solaire, etc.).

Partant de ce contexte, l'objectif principal du projet est de fournir une plateforme générique de pilotage multisources et multifluides en temps réel afin d'optimiser l'efficacité énergétique d'un domaine skiable, et d'y intégrer un outil d'aide à la décision valorisant l'ensemble du territoire en vue de favoriser le développement de la production d'énergies renouvelables.

Développer un tel outil de management énergétique offre deux avantages majeurs pour la branche : participer activement à la transition énergétique, et réduire les frais d'exploitation.

Abstract

The operation of a ski resort requires a significant technical infrastructure (skilifts, buildings, snowmakers, etc), consuming a huge amount of multi-fluid energy (electricity, oil, etc.). Moreover, a ski domain has an important potential for the usage and the production of energy renewables (mini hydro, solar, etc.).

Given this context, the principal objective is to provide a real-time, multi-source and multi-fluid platform to optimize the energy efficiency of a ski resort, and integrate a decision supporting tool to promote the development of renewable energy.

This energy management tool has two main advantages for this sector: the contribution to the energy transition and the reduction of the operational cost of a ski resort.

Zusammenfassung

Der Betrieb eines Skigebiets erfordert eine wichtige technische Infrastruktur (Skilifte, Gebäude, Schneemanagement etc.), die einen signifikanten Mehrverbrauch an Energie (Strom, Heizöl, etc.) erzeugt. Das Ausmaß einer Domäne hat auch ein erhebliches Potenzial für erneuerbare Energien (Mini-Hydro, Solar, etc.).

Vor diesem Hintergrund besteht das Hauptziel des Projekts darin, eine generische Multi-Source- und Multi-Fluid-Steuerungsplattform in Echtzeit bereitzustellen, um die Energieeffizienz eines Skigebiets zu optimieren und ein Tool zu integrieren, das hilft die Entscheidung, das gesamte Gebiet zu erweitern, um die Entwicklung der Produktion erneuerbarer Energie zu fördern.

Die Entwicklung eines solchen Energiemanagement-Tools bietet zwei wesentliche Vorteile für die Branche: sich aktiv an der Energiewende zu beteiligen und die Betriebskosten zu senken.

Table des matières

1.	Résumé.....	3
2.	Contexte de départ.....	6
3.	But du projet	6
4.	Description de l'installation	7
4.1.	Description	7
4.2.	Partie HUB	8
4.3.	Partie Application	8
4.4.	Flux de données.....	8
4.5.	Interface graphique	9
4.6.	Exemple pratique : changement d'une consigne de chauffage	10
4.7.	Sauvegarde	11
4.8.	Sécurité	12
4.9.	Répliquabilité	12
5.	Procédure – méthodologie.....	12
5.1.	Mise en place de l'architecture.....	12
5.1.1.	Application.....	12
5.1.2.	Hubs	13
5.2.	Création d'une machine virtuelle	13
5.2.1.	Installation de Debian.....	13
5.2.2.	Installation et paramétrage de jeedom.....	13
5.2.3.	Script de modification des paramètres.....	14
5.3.	Intégration d'un système sur la plateforme	14
5.4.	Mise en place d'un management de l'énergie.....	15
5.5.	Cartographie.....	16
6.	Résultats	17
6.1.	Résultats sur l'exploitation du domaine.....	17
6.1.1.	Régulation des cabanons.....	17
6.1.2.	Chauffage des bureaux.....	18
6.1.3.	Planification	21
6.2.	Résultats sur l'énergie	23
6.2.1.	Récupération de chaleur	23
6.2.2.	Régulation des bureaux	26
6.2.3.	Régulation des cabanons.....	27
6.2.4.	Implantation d'énergies renouvelables	27
6.2.5.	Consommation d'énergie	31
6.2.6.	Prédiction de la consommation d'électricité.....	32
6.2.7.	Régulation de vitesse des remontées mécaniques	38



7. Discussion des résultats	40
7.1. Feedback de Téléverbier sur l'outil	40
7.2. Difficultés rencontrées	41
7.2.1. Déploiement VM.....	41
7.2.2. Conflit matériel	41
7.2.3. Maintenance.....	41
7.2.4. Aide à la décision	41
7.3. Economies d'énergies	42
7.4. Rentabilité de la plateforme	42
7.5. Interprétation des données	43
8. Conclusions	43
Glossaire	45

2. Contexte de départ

L'exploitation d'un domaine skiable repose sur une multitude de procédés mécaniques et humains. On retrouve ainsi de nombreux postes de consommation aussi divers que des moteurs de remontées mécaniques, des monoblocs de ventilation, le chauffage des bureaux, des systèmes d'enneigement, etc.

Tous ces procédés possèdent des réglages et des configurations qui leur sont propre. Le paramétrage est souvent laissé tel quel après la mise en service, il est donc difficile d'accéder à ces informations pour le personnel exploitant. Chaque appareil dispose de son interface *in situ*, sans autre moyen d'accès que de se rendre sur place.

Des démarches de réduction de la consommation énergétique sont en cours chez Téléverbier. Elles concernent des actions ponctuelles précises, identifiées dans le cadre d'une convention d'objectifs. Cependant, le manque de vision globale sur l'état des appareils et procédés rend difficile l'amélioration continue et nécessite un accompagnement par un expert extérieur.

Le projet Smart Ski Resort est le descendant du projet OBSERV, mené en partenariat entre le CREM, Simnet SA, la HES-SO, The Ark et Téléverbier. Ce projet a posé les bases de la réflexion, il a permis l'élaboration d'un prototype de plateforme de pilotage, de déployer une première flotte d'appareils de contrôle/commande et a ancré une dynamique de recherche d'économie et d'efficience.

Téléverbier a renouvelé son intérêt pour aller plus loin dans cette démarche. Forts de ces expériences passées, les partenaires du projet Smart Ski Resort ont décidé de développer de manière plus approfondie les fonctionnalités de la plateforme OBSERV.

3. But du projet

Le livrable principal du projet est une plateforme informatique de pilotage des processus liés à l'exploitation du domaine skiable de Téléverbier. Cette plateforme (surnommée « plateforme Observ ») servira d'interface de supervision et de commande pour de nombreux appareils, et fournira une aide à la décision pour entreprendre des actions de réduction des consommations. Les principales caractéristiques de l'outil sont les suivantes :

- Affichage de valeurs en temps réel
- Possibilité de commander des appareils
- Historisation des valeurs
- Gestion des droits d'accès
- Système de planification horaire et envoi d'alarmes
- Affichage de données énergétiques sous forme spatiale
- Génération de rapports automatiques

Le but est double : permettre au personnel exploitant de mieux maîtriser les appareils (thermostats, monoblocs de ventilation...), avoir un contrôle aisé sur les processus (production de chaleur...), et comprendre les systèmes pour un pilotage efficace de leur domaine. Au niveau énergétique, l'objectif est de mettre en évidence les optimisations possibles, historiser des données pour de futures études, mesurer l'impact d'actions d'efficacité énergétique, et plus globalement : systématiser la prise en compte de la consommation énergétique dans les projets d'installation future.

4. Description de l'installation

Les conclusions de l'étude conduite lors du premier volet du projet favorisent une architecture en plusieurs blocs. Un bloc nommé « HUB » pour la collecte de données et un bloc nommé « Application » pour leur traitement et affichage.

La justification de cette architecture décentralisée tient en plusieurs points. Tout d'abord, les passerelles en place pour accéder au bus KNX n'acceptent qu'une seule connexion. Il faut donc une entité par passerelle sur le réseau, une solution centrale n'est pas possible sans devoir changer toutes les passerelles pour des modèles multi-connexion, ce qui nécessite beaucoup trop d'investissement financier et temporel. Une autre raison est la limitation de la puissance de calcul. L'interface avec le bus se fait via un démon, qui consomme de la ressource informatique (CPU et mémoire vive). Multiplier ces démons sur une même machine représente un danger de surcharge pour le matériel. De plus, l'application devra aussi fournir des valeurs à une interface graphique, gérer une base de données de taille conséquente, etc... Décentraliser les processus est donc impératif pour éviter tout problème d'instabilité ou de lenteur pour le système.

4.1. Description

L'architecture mise en place à Téléverbier peut être schématisée comme suit :

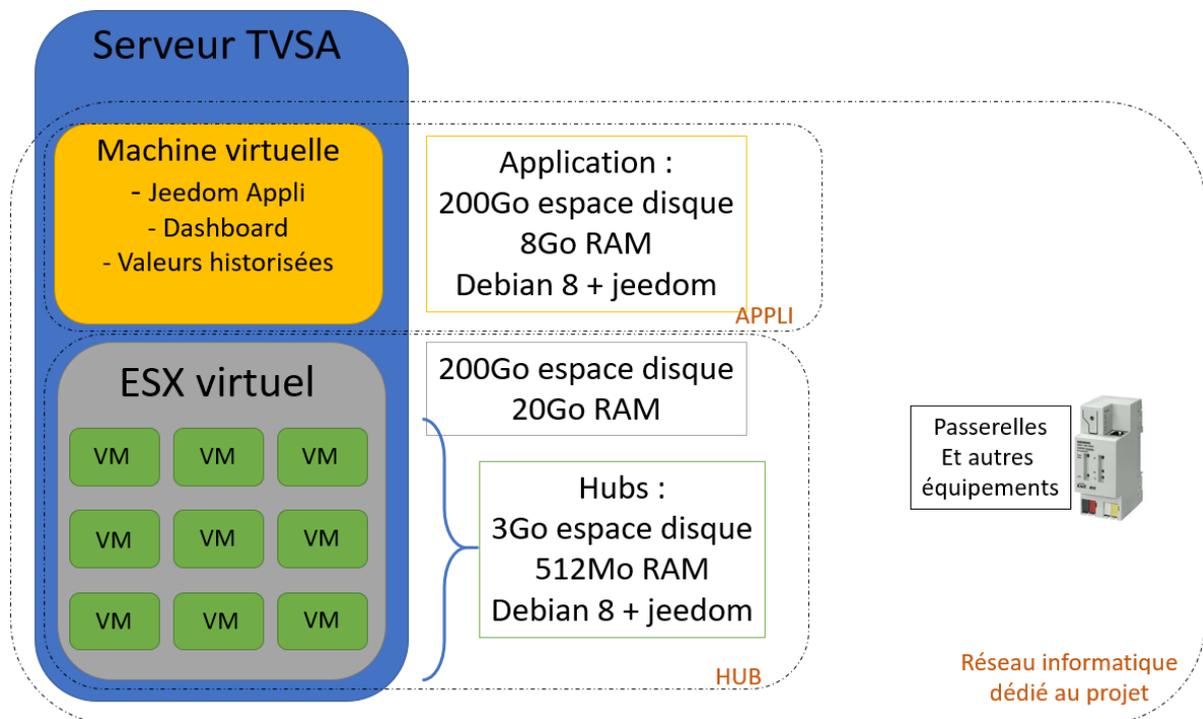


Figure 1: architecture informatique

4.2. Partie HUB

Un superviseur existant sur un serveur physique déjà en place à Téléverbier est utilisé pour créer une machine virtuelle. Celle-ci est elle-même configurée pour être un hyperviseur ESX, et nous avons accès à cette machine virtuelle. Cette VM est assez robuste pour y déployer une flotte de machines virtuelles légères pour la collecte de données. Ces machines virtuelles sont créées et gérées par une machine virtuelle. On parle de « nested VM ».

Leurs performances sont réduites au minimum nécessaire : l'OS utilisé est Debian8, sans environnement de bureau graphique, réduit à sa plus simple expression. Sur ces VM, on installe le logiciel Jeedom. Ce logiciel crée un serveur web grâce auquel on peut accéder à une interface graphique. Jeedom permet de se connecter à une passerelle KNX/IP et d'interagir avec le bus, ainsi qu'avec les protocoles Modbus, BACnet, etc...

Concrètement, Un hub avec jeedom permet de « numériser » une donnée ou commande : on peut agir sur un système et recevoir des informations via l'interface graphique accessible sur un appareil en réseau (ordinateur/tablette/smartphone...).

4.3. Partie Application

À côté de la machine virtuelle hébergeant notre hyperviseur, une autre VM est créée uniquement pour la partie application. Cette VM est identique aux hubs puisqu'elle tourne sur Debian8 et accueille le logiciel jeedom. Toutefois, elle dispose de davantage de ressources : 200Go d'espace disque pour l'historisation des données et 8Go de RAM pour une navigation fluide dans l'interface graphique.

Tous les hubs transfèrent leurs points de données respectifs vers l'application. C'est aussi sur cette machine que se fait le traitement des données : formatage pour meilleur affichage, rétention d'historique, calculs d'indicateurs, surveillance des valeurs et alarmes/notifications, scénarios, cartographie, etc...

Certaines données ont une origine qui n'est pas locale au domaine skiable. Par exemple certaines données météo sont fournies par météo suisse, les données de passages aux bornes viennent de skidata, et les services industriels mettent à disposition les données de consommation. Pour ces sources particulières, l'application reçoit les informations directement sur le logiciel jeedom en interrogeant des webservices ou API maintenues par les fournisseurs externes de données.

4.4. Flux de données

Tous les équipements présents sur le bus sont rapatriés dans un HUB sous forme d'équipement numérique. Ainsi, toutes les valeurs sont disponibles à la consultation et modification (lorsque cela est possible). Sur ce hub, aucune valeur n'est historisée, mais chaque équipement est dupliqué et envoyé vers l'Application. Ainsi, quand une valeur change, le hub le voit sur le bus, modifie sa propre valeur pour la nouvelle, ainsi que l'équipement sur l'application. De même, chaque action faite sur l'application prend le chemin inverse : l'équipement sur le hub fait le relais vers le bus et l'équipement physique.

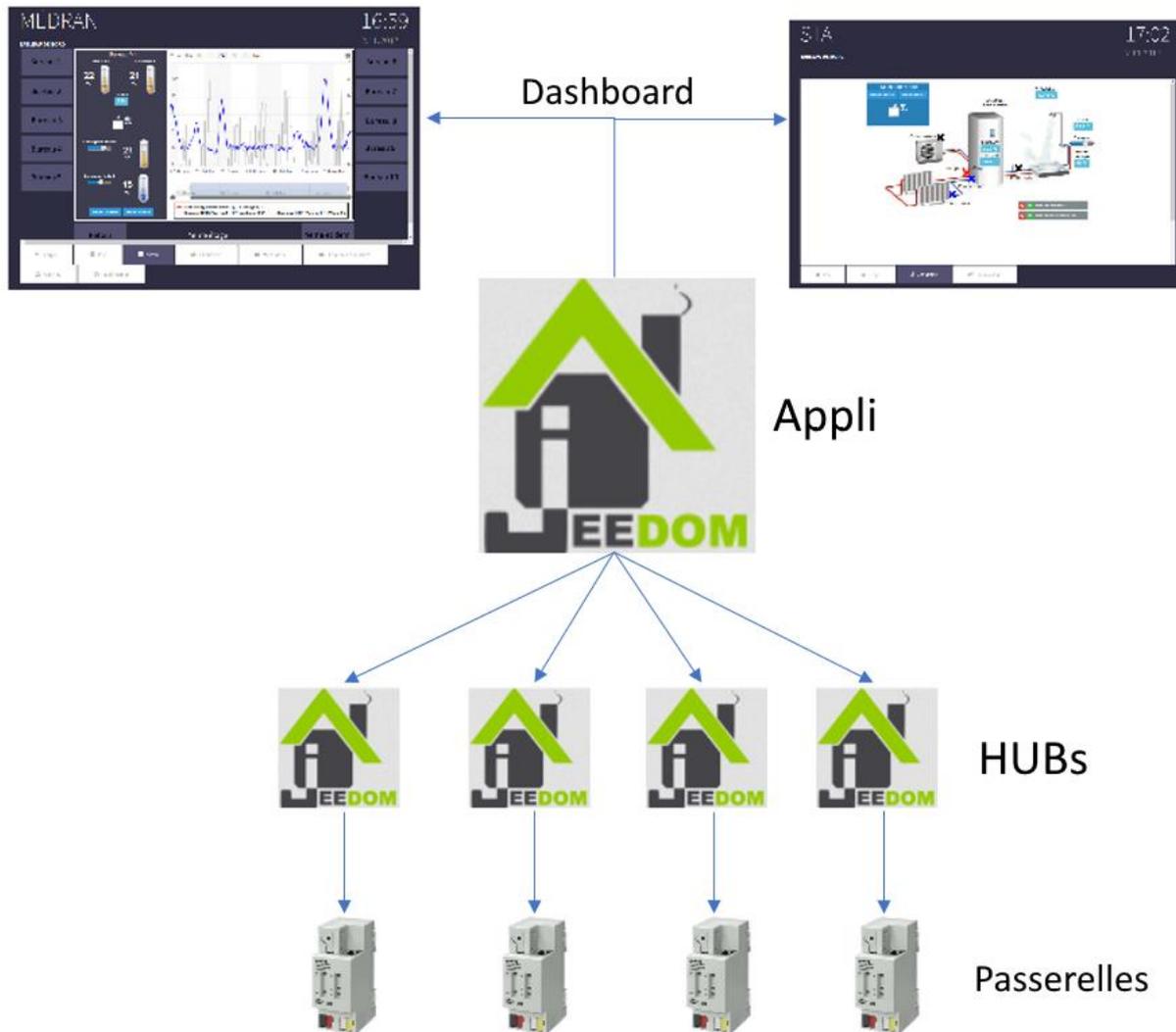


Figure 2: illustration de l'architecture centralisée

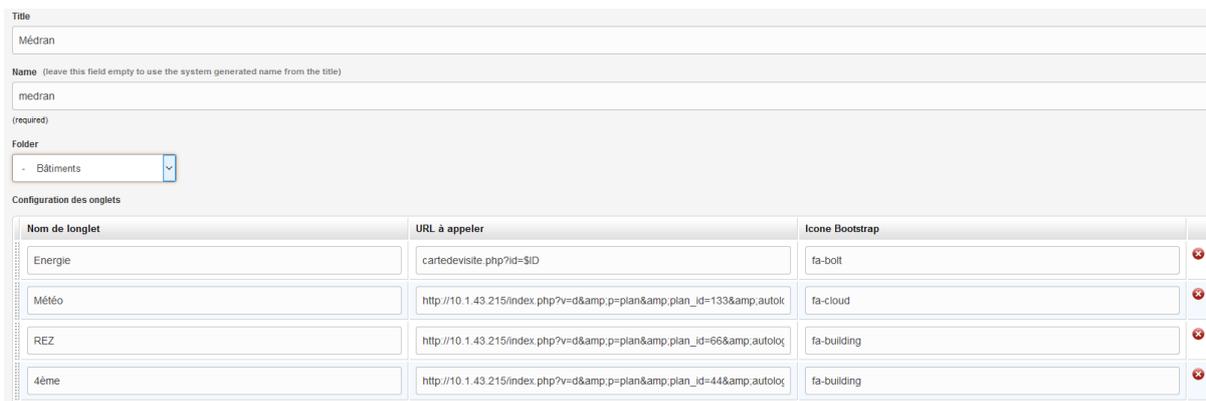
L'application dispose des données formatées correctement et prêtes à l'affichage. Le logiciel permet de créer des « designs » : des pages vides que l'on peut remplir selon sa volonté. Chaque design dispose d'une URL directe. Un frontend appelle ces URL pour les afficher à l'utilisateur.

4.5. Interface graphique

Un gestionnaire de contenu (CouchCMS) permet de configurer l'affichage sur le tableau de bord. C'est dans l'interface d'administration du CMS que l'on définit les secteurs du domaine skiable, et les installations disponibles à la visualisation. Lorsqu'on crée une installation, celle-ci sera disponible dans le menu arborescent, pour autant que l'utilisateur connecté possède les droits pour y accéder.

La solution choisie permet ainsi une répliquabilité totale de la démarche en offrant à tout nouveau site la liberté de définir sa propre arborescence. Une installation peut être un bâtiment, une remontée, etc... Pour chaque installation on peut définir plusieurs onglets pour y afficher ce que l'on veut. Par exemple

une installation représentative d'une remontée mécanique aura un onglet pour présenter les informations générales, un pour contrôler le chauffage de chaque cabanon, un autre pour les données de consommation, etc... Ci-dessous une capture d'écran de la configuration des onglets.



The screenshot shows a configuration interface for a content editor. At the top, there is a 'Titre' field containing 'Médran'. Below it is a 'Name' field with the value 'medran'. A 'Folder' dropdown menu is set to 'Bâtiments'. The main section is titled 'Configuration des onglets' and contains a table with three columns: 'Nom de onglet', 'URL à appeler', and 'Icône Bootstrap'. There are four rows of configuration, each with a red 'X' icon in the right margin.

Nom de onglet	URL à appeler	Icône Bootstrap
Energie	cartedevisite.php?id=\$ID	fa-bolt
Météo	http://10.1.43.215/index.php?v=d&p=plan&plan_id=133&autolo	fa-cloud
REZ	http://10.1.43.215/index.php?v=d&p=plan&plan_id=66&autolo	fa-building
4ème	http://10.1.43.215/index.php?v=d&p=plan&plan_id=44&autolo	fa-building

Figure 3: Aperçu de l'éditeur de contenu

C'est dans le gestionnaire de contenu que se définit la liaison entre les données de l'application en backend et l'affichage sur le dashboard en frontend.

4.6. Exemple pratique : changement d'une consigne de chauffage

Afin d'illustrer le système de contrôle-commande mis en place, nous allons voir comment circulent les informations lors du changement d'une consigne de chauffage directement sur le thermostat et depuis le dashboard.

Dans le cas d'un changement manuel, l'utilisateur va jusqu'au thermostat mural, accède au menu « réglage de la consigne », puis actionne les boutons poussoirs pour obtenir la valeur désirée. Le thermostat va ensuite agir sur la vanne de chauffage.

Ici les informations restent locales : tout se passe au niveau du thermostat.

Voyons maintenant comment cela se passe depuis le dashboard :

- L'utilisateur navigue vers la bonne page et bouge un curseur, de 21°C vers 18°C (1). Ce curseur modifie la variable correspondante dans l'application.
- Cette variable est jumelée avec une variable du même nom sur le hub. Toute modification de l'une entraîne une mise à jour sur l'autre (2).
- Le hub transfère le contenu de la variable (18°C) dans l'objet « valeur de la consigne » du thermostat via le bus (3).
- Le thermostat va ensuite confirmer la modification de cette valeur en la diffusant sur le bus. Le hub voit passer cette valeur et va l'écrire dans une de ses variables (4).

- Par le même système de variables jumelées, l'application se met à jour (5) et le retour d'état de la nouvelle consigne (18°C) est affiché sur le dashboard (6).

Le schéma suivant illustre le cheminement des informations :

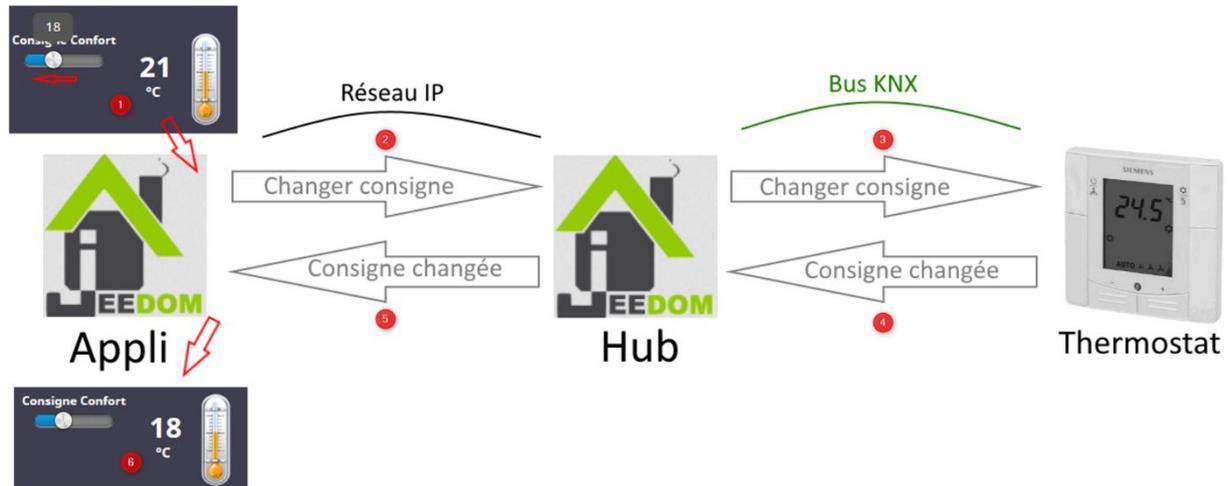


Figure 4: flux d'information pour un changement de consigne

Il peut y avoir une petite latence entre l'action de modifier le curseur et le changement de la valeur qui dépend de la vitesse du réseau et de l'équipement en question, mais le résultat est identique. Tout se passe comme si un utilisateur avait modifié la consigne sur le thermostat en direct de manière manuelle.

Ce fonctionnement permet à un utilisateur d'agir sur tous les processus intégrés à la plateforme depuis son poste, ce qui réduit considérablement le temps d'action et le suivi des commandes. Le chapitre 6.1.2 donne plus de détails sur les possibilités offertes par cette commande centralisée.

4.7. Sauvegarde

Jeedom propose son propre moteur de sauvegarde : tous les jours, un snapshot de la base de données, de la configuration et des fichiers est sauvegardé dans le hub lui-même. On peut restaurer ces snapshots qui sont conservés pendant trois jours.

L'hyperviseur dispose également de solutions de backup pour chaque VM qu'il héberge. Toutefois, nous n'avons pas activé cette fonctionnalité en raison du caractère non critique des hubs déportés et de la solution jeedom qui est suffisante pour la plupart des cas. Par sécurité, un snapshot de chaque hub en état de fonctionnement a été fait en prévision d'un éventuel crash.

À un niveau supérieur, la VM qui héberge notre hyperviseur est elle-même sauvegardée chaque semaine par le « vrai » superviseur de Téléverbier, qui nous assure un point de restauration hebdomadaire. Ces points de restauration sont conservés pendant un mois.

4.8. Sécurité

Tous les équipements de l'architecture sont présents sur le réseau de Téléverbier. Aucun n'est ouvert à l'extérieur autrement qu'à travers un tunnel VPN. A priori la mise en place de cette architecture ne présente pas de point faible pour le réseau.

4.9. Réplicabilité

Les prérequis pour la mise en place d'une telle architecture sont les suivants :

- Un subnet dédié au projet
- Un accès VPN au réseau depuis l'extérieur
- Une machine (physique ou virtuelle) avec un hyperviseur ESX
- De l'espace disque et de la RAM en quantité adaptée
- Un accès au réseau aux endroits où sont installées les passerelles
- Une personne en interne en tant qu'interlocuteur pour l'intégration à l'architecture actuelle

Le reste est variable en fonction du projet. On a une architecture type que l'on peut déployer facilement dans un grand nombre de situations. Il est tout à fait envisageable de fournir au client le matériel nécessaire pour accueillir une telle architecture à des coûts raisonnables. De plus, il est aisé de la réaliser de façon à ce qu'elle soit indépendante du réseau existant, afin de ne pas perturber ce qui est en place.

Dans ce qui suit, les choix technologiques et méthodologiques ont été orientés par la recherche de répliquabilité. Le rapport préliminaire développe plus en détail les raisons de ces choix.

5. Procédure – méthodologie

5.1. Mise en place de l'architecture

5.1.1. Application

L'application qui va centraliser toutes les données est une machine virtuelle. La méthodologie pour sa construction se base sur les besoins et ne suit pas de procédure particulière. Toutefois la façon de faire est toujours assez similaire, et quelques règles ont été suivies lors de son élaboration.

Tout d'abord, les objets sont triés selon leur provenance. Une catégorie est créée pour chaque bâtiment, et tous les équipements et entités de ce bâtiment sont regroupés dans cette catégorie, afin de s'y retrouver dans l'interface graphique.

Une partie du flux de données entrant dans l'appli vient des hubs sous forme d'équipements jumelés : un sur l'appli et un sur le hub. Les deux sont synchronisés en permanence. Par convention, l'équipement dans l'application est laissé tel quel, et les données sont dupliquées depuis cet équipement « source » pour leur traitement, archivage et affichage. L'autre partie du flux de données arrive sur l'appli par des services tiers, comme par exemple la météo ou les données de consommation.



5.1.2.Hubs

Une grande partie des hubs est destinée à interagir avec un bus KNX. La méthodologie décrite ici s'appuie sur cette catégorie, sachant qu'elle est très similaire pour d'autres protocoles de communication.

Afin de gagner un maximum de temps, nous avons pris le parti d'utiliser un modèle général, de le dupliquer, puis de l'adapter à chaque situation particulière.

Les hubs sont déployés en tant que machines virtuelles. L'ensemble de ces VM est géré par un hyperviseur : ESXi de VMware.

La méthodologie se décompose comme suit :

1. Création d'une machine virtuelle
2. Installation de l'OS Debian8
3. Installation de Jeedom
4. Paramétrage générique de Jeedom
5. Identification des paramètres qui diffèrent d'un hub à l'autre
6. Création d'un script de modification de ces paramètres
7. Sauvegarde de la machine virtuelle en tant que modèle
8. Déploiement d'une machine virtuelle selon ce modèle
9. Exécution du script de personnalisation
10. Vérification de la bonne marche du procédé

Les étapes 8 à 10 sont répétées aussi souvent que nécessaire. La partie qui suit donne quelques détails supplémentaires pour chaque étape.

5.2. Création d'une machine virtuelle

La création est guidée par un assistant de configuration. Les seuls paramètres à régler sont : le type du système d'exploitation, la taille du disque, la quantité de mémoire vive allouée, ainsi que le nom de la VM.

5.2.1.Installation de Debian

L'installation se fait classiquement via une image .iso. Lors de l'installation, un assistant permet de paramétrer l'installation : nom d'hôte, configuration du réseau, etc. Pour alléger la taille, aucun environnement graphique n'est installé, on accède à la VM via une console de commande.

5.2.2.Installation et paramétrage de jeedom

Un script d'installation s'occupe de tout. Jeedom fournit une interface graphique sous forme de pages web (PHP). On y accède via l'adresse IP fixe configurée lors de l'installation de Debian. Avec l'interface graphique, on installe un plugin qui permet de se connecter au bus KNX. On crée ensuite un équipement qui est l'exacte copie virtuelle d'un équipement réel. On configure ensuite l'envoi d'une copie de cet équipement vers l'application.

5.2.3. Script de modification des paramètres

Ce script est exécuté juste après le premier démarrage d'un hub nouvellement déployé. Il va modifier l'adresse IP statique de la VM, son nom d'hôte, ainsi que le nom de l'équipement KNX et quelques paramètres de connexion au bus. Après un redémarrage de la VM, on se retrouve avec un hub unique et fonctionnel.

Remarques

Aucune valeur n'est archivée sur le hub. Celui-ci sert uniquement à faire la transition entre le bus et l'application. Tout le traitement de données s'effectue sur l'application.

5.3. Intégration d'un système sur la plateforme

La procédure pour inclure un système sur la plateforme dépend du système en question mais certains grands principes sont présents.

Tout d'abord, le système (régulateur, sonde, etc...) doit pouvoir communiquer d'une façon ou d'une autre. Prenons l'exemple du système de régulation de la production solaire thermique à Savoleyres. C'est un système du fabricant Soltop. Le système utilise le protocole de communication CAN.

Il faut ensuite déployer un hub qui va pouvoir discuter avec le système étudié. En l'occurrence, le fabricant propose une passerelle CAN vers KNX. Après documentation et installation de la passerelle, le hub peut recevoir en KNX les valeurs exportées en CAN par le régulateur solaire.

Le hub est ensuite synchronisé avec l'application : les données remontent, sont traitées et historisées.

Dans le gestionnaire de contenu de l'interface graphique, on ajoute un bâtiment « Savoleyres », avec un onglet « solaire thermique ». Cet onglet pointe vers une URL de l'appli correspondant à un schéma de principe de l'installation avec les données disponibles.

Les droits d'accès sont rajoutés pour les personnes responsables de ce secteur. On peut visualiser sur la plateforme le fonctionnement du système avec les valeurs qui évoluent en temps réel. Une valeur de température mesurée par une sonde est stockée dans le régulateur qui la communique en CAN à sa passerelle. Elle est convertie en KNX pour arriver sur le hub, qui la transmet à l'application, celle-ci se charge de modifier la précédente valeur sur la supervision.

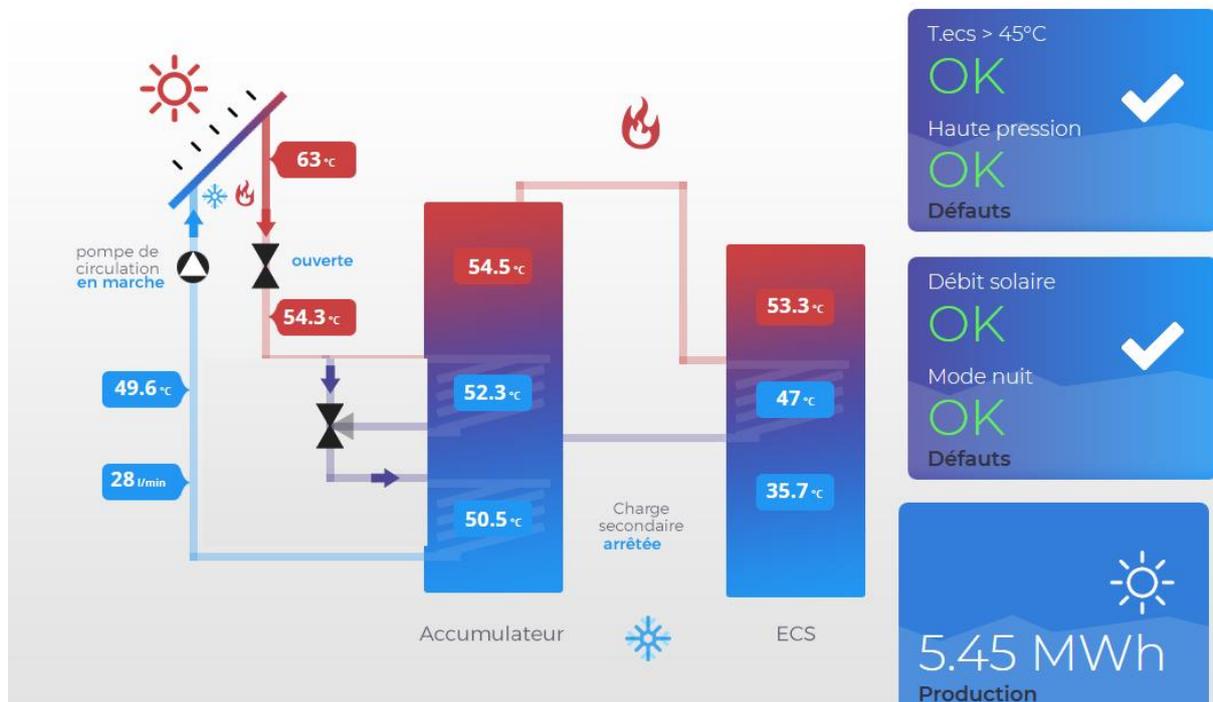


Figure 5: supervision de la production solaire

Cet exemple montre la méthodologie générale pour superviser une valeur ou un système. Les méthodes d'acquisition sont multiples et le bon choix se fait en fonction du contexte. Mais l'aspect fondamental de cette procédure réside dans la publication d'une donnée sur l'application, directement depuis la source ou via un hub.

5.4. Mise en place d'un management de l'énergie

Afin de tirer le meilleur de la plateforme, il convient de mener une réflexion sur plusieurs niveaux. L'aspect métier centré sur l'exploitation du domaine nécessite une vision à court terme, quasiment en temps réel. L'aspect énergétique, qui vise à identifier des actions de performance énergétique, les mener à bien et vérifier leur impact nécessite une vision sur plusieurs années.

Implémenter durablement et efficacement une démarche d'efficacité au sein d'une entreprise telle que Téléverbier représente un travail conséquent et dépasse l'horizon du présent projet. De nombreux documents existent dans la littérature qui détaillent la procédure pour mettre en place un management de l'énergie, les détails ne seront pas répétés ici.

Les points importants qui ressortent de l'analyse du cas particulier de Téléverbier sont les suivants :

- La grande majorité de la consommation totale est imputable aux moteurs de remontées mécaniques (55%) et à l'enneigement mécanique (32%).
- Les quelques remontées les plus énergivores consomment autant que toutes les autres réunies.

- Un indicateur pertinent pour évaluer la performance énergétique d'une remontée mécanique est la consommation par fréquentation sur une période donnée. Il s'exprime en kWh/passage et fait le lien entre l'aspect énergétique et l'aspect « service rendu ». Plus l'indicateur est bas plus la remontée est performante.
- Une formation aux fonctions avancées du dashboard sera sans doute nécessaire à la personne responsable du management de l'énergie chez Téléverbier, si l'entreprise décide de s'engager dans cette voie.

Le travail de CAS de Fabien Kuchler (2013, *Mise en place d'un management de l'énergie dans la société de remontées mécaniques Téléverbier SA*) représente le travail le plus abouti sur ce sujet. Ce document propose le développement d'une plateforme de monitoring énergétique dans le but de chiffrer les économies réalisées. L'outil est maintenant développé, et peut facilement être adapté à la démarche présentée dans le travail de M. Kuchler pour la mise en place d'un management de l'énergie.

5.5. Cartographie

La plateforme peut afficher des données sous forme spatiale. Dans le cadre de ce projet, les données de consommation électrique ont été choisies pour valider le concept. L'éditeur de contenu (couchCMS) est configuré pour prendre en input des coordonnées géographiques. Un script permet l'export des données sous forme de geoJSON, avec les structures et leur consommation associée. La page de cartographie appelle cet export pour l'exploiter et présenter les données géolocalisées à l'utilisateur.

L'architecture du backend de la plateforme a été élaborée de manière à pouvoir afficher n'importe quelles informations désirées, et ceci de façon dynamique.

Parmi les indicateurs récupérés, la carte affiche une couche différente par indicateur. Il est possible de sélectionner l'indicateur à afficher via le bouton en haut à droite de la carte. Ce bouton permet en outre de faire un choix entre différents fonds de carte (ESRI / OSM).



Figure 6: sélecteur de couche par indicateur



Chaque structure est affichée selon son type. Les bâtiments sont représentés par des points et les remontées par des lignes. Afin de mettre en évidence les indicateurs selon leur valeur, les structures sont affichées selon une échelle de couleurs graduée.

La carte peut ainsi afficher toutes sortes d'indicateurs, comme la consommation de la journée, de la veille, les passages, etc...

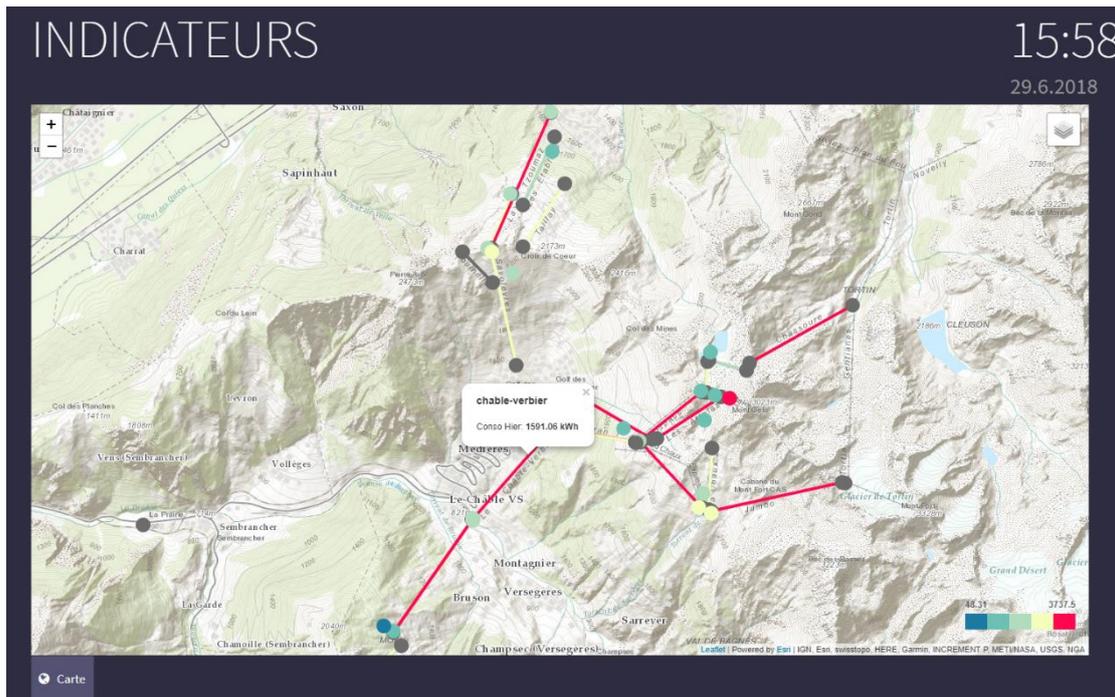


Figure 7: vue cartographique

6. Résultats

Les résultats du projet sont présentés ici selon les deux volets principaux du projet : l'aspect exploitation métier et l'aspect énergétique.

6.1. Résultats sur l'exploitation du domaine

6.1.1. Régulation des cabanons

Les cabanons de pilotage des remontées mécaniques sont équipés de radiateurs électriques. À l'origine, le pilotage était laissé à la responsabilité du personnel exploitant, avec comme conséquences un confort mitigé et une dépense énergétique non maîtrisée. Les cabanons étaient très froids à l'arrivée du personnel le matin. L'employé montait alors manuellement le thermostat du radiateur, très vite il faisait

trop chaud, il ouvrirait donc la porte. Un radiateur a même été trouvé enclenché lors d'une opération de maintenance en été.

La régulation en place est basée sur deux modes : confort et réduit. Le mode confort s'enclenche automatiquement le matin (définie par le planificateur) afin que le cabanon soit quasiment à température à l'arrivée du personnel. Lors de l'ouverture de la porte, un capteur enclenche le mode réduit. Ce fonctionnement incite le personnel à garder la porte fermée. Par ailleurs la consigne de chauffage n'est pas modifiable.

Ci-dessous, une capture d'écran de la supervision d'un cabanon. On voit en bleu la température ambiante, en rouge la consigne et en gris la vanne de courant. Le widget de droite permet de contrôler les valeurs actuelles (mises à jour en temps réel) et de forcer le mode de fonctionnement.

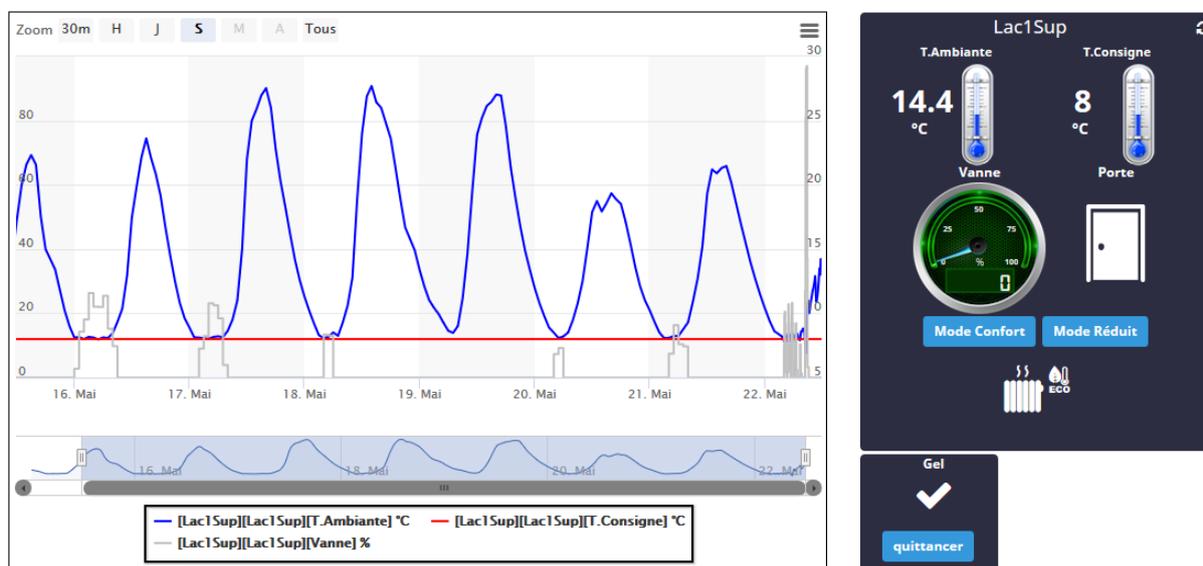


Figure 8 : Vue synthétique pour la régulation des cabanons

Au niveau des résultats obtenus, les études précédentes ont montré un gain énergétique compris entre 10 et 20% selon les conditions (ensoleillement, altitude). Ces valeurs ne prennent pas en compte une éventuelle dérive de consommation dont le système permet de se prémunir. Or ces dérives de consommation peuvent représenter des sommes substantielles, et même parfois causer des sinistres.

6.1.2. Chauffage des bureaux

Le même principe général a été appliqué aux bureaux administratifs au 4^{ème} étage du bâtiment Médran à Verbier. La différence réside dans le fait que les contacts de porte ne sont pas présents pour baisser la consigne, cette dernière est réglable, à la fois dans le mode confort et le mode réduit.

Les bureaux se distinguent en deux zones : chauffage par radiateurs et chauffage au sol. Seuls les actionneurs de vanne sont différents, le reste de la régulation utilise les mêmes appareils, ce qui permet de faire des économies d'échelle au niveau du temps de programmation.

Une vue générale par étage permet de contrôler d'un coup d'œil la plupart des températures ambiantes :



Figure 9: vue globale par étage

Chaque bureau surveillé est cliquable. On arrive sur la page détaillée par bureau :

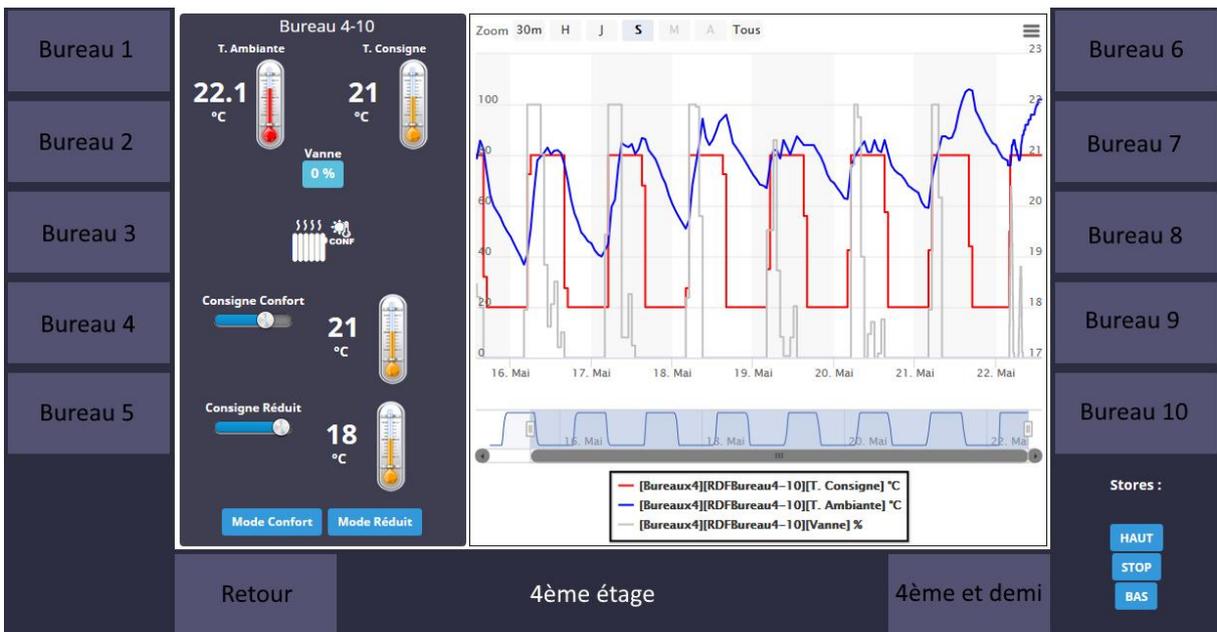


Figure 10: vue détaillée par pièce

On accède globalement aux mêmes informations que pour les cabanons, avec en plus la possibilité de régler dynamiquement la consigne. Les stores, aussi inclus dans la GTB, sont également pilotables depuis la plateforme. Aucune automatisation de l'ouverture/fermeture n'est actuellement mise en place.

Au niveau qualitatif, on remarque que la plateforme est très utilisée à Télérévier pour surveiller les températures de bureaux. Des dysfonctionnements apparaissent parfois, mais grâce à la supervision, la cause est rapidement identifiée : le système remonte graphiquement les températures de consigne/d'ambiance, l'état d'ouverture de la vanne, ainsi que les courbes d'évolution de ces valeurs sur les jours passés. On peut ainsi apporter les corrections nécessaires.

Cette régulation fut installée avant les compteurs de chaleur, il n'existe donc pas de période de référence pour calculer une économie. Cependant la SIA 386.110 indique des gains thermiques jusqu'à 20% en passant d'une régulation par vannes thermostatiques à une régulation par pièce avec régulateurs électroniques.

Une sous station de raccordement au CAD a remplacé les chaudières à mazout et des compteurs de chaleur ont été rajoutés sur chaque circuit de chauffage. La régulation du secondaire était jusque-là assurée par le gestionnaire du CAD, Télérévier a décidé de prendre en charge cette régulation, afin de pouvoir exploiter les sondes de températures présentes dans les bureaux. La nouvelle régulation est en cours d'installation. La demande de chaleur sera transmise des consommateurs jusqu'à la production : l'automate de régulation du primaire ne reçoit plus sa demande d'une loi d'eau, mais du secondaire. Nous avons constaté de grosses consommations sur des circuits de chauffage dédiés à des espaces de stockage, avec très peu de passage et d'activité. La surveillance de ces consommations en vue de les réduire devrait avoir un impact significatif sur la quantité de chaleur soutirée au réseau primaire.

Le projet de changement de régulation a été réalisé dans le but de l'intégrer à la plateforme. Les technologies ont été choisies pour faciliter un maximum la compatibilité. Sur la plateforme, une vue générale permet d'avoir toutes les informations d'un coup d'œil :

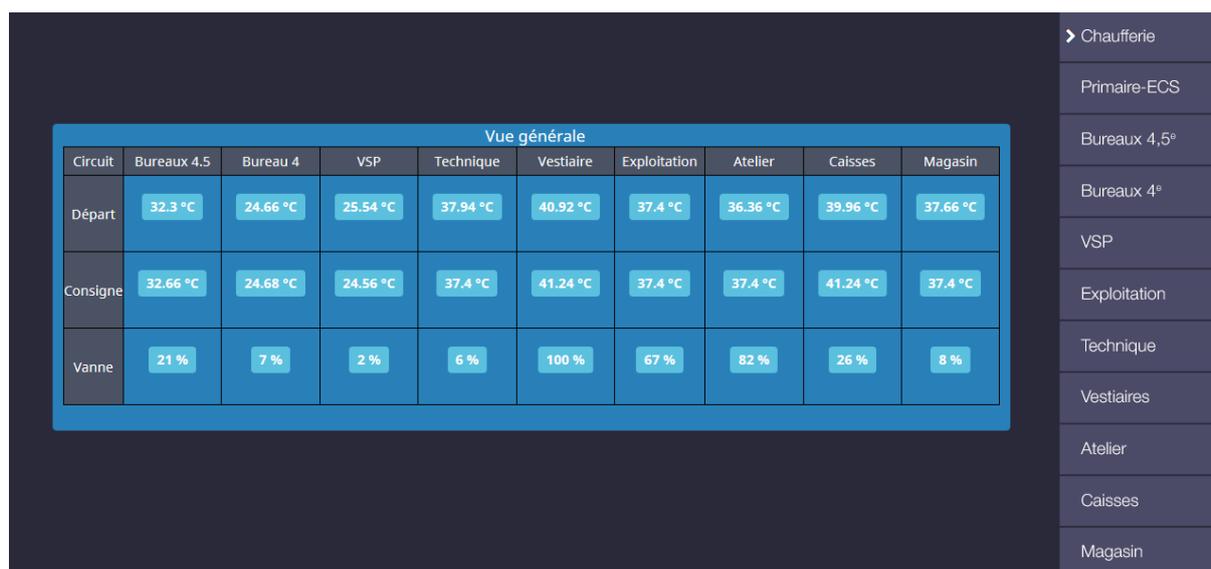


Figure 11: vue générale de la chaufferie

En navigant sur les onglets de gauche on accède aux informations détaillées par circuit de chauffage :

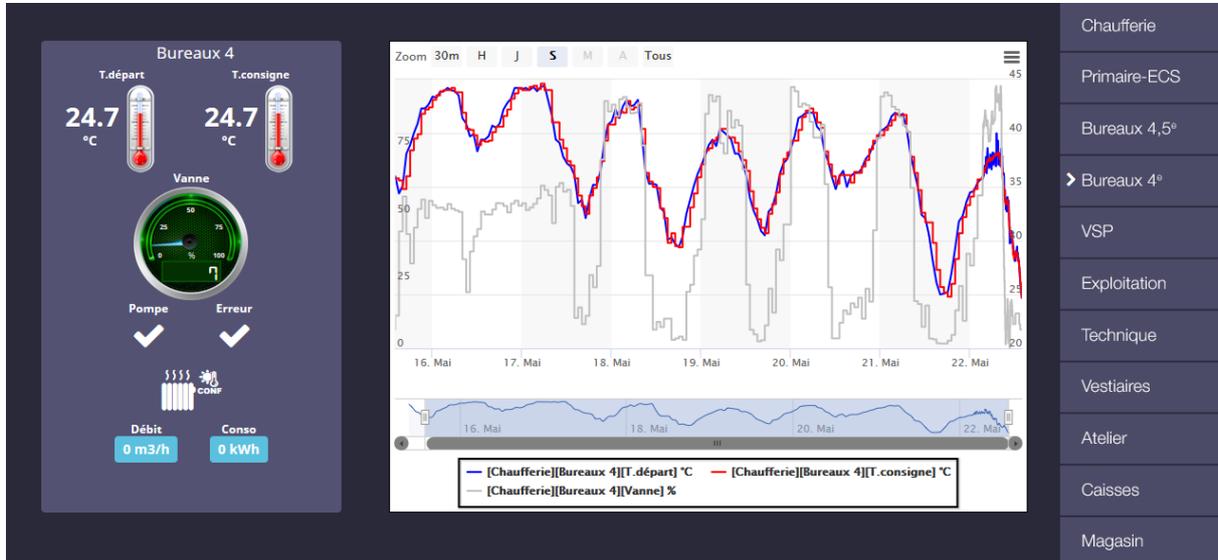


Figure 12: vue détaillée d'un circuit de chauffage

Le passage en mode confort/nuite, en synergie avec les modes dans les bureaux, n'est pas encore implémenté, mais cette fonctionnalité est prévue.

Une bonne coordination avec l'exploitant du CAD nous permet d'échanger des données utiles : nous récupérons les valeurs des compteurs de chaleur, et transmettons une demande de chaleur progressive en fonction des besoins.

6.1.3. Planification

Un outil d'édition de planification était une des fonctionnalités clé de la plateforme. Dès le début, Téléverbier a fait part de son intérêt à disposer d'un moyen de définir des actions répétées chaque jour. Pour réaliser un abaissement nocturne sur une consigne de chauffage, enclencher les sèche-chaussures, pouvoir chauffer confortablement un bâtiment hors-gel lors d'une maintenance, etc... L'application met à disposition des actions d'enclenchement/déclenchement, et l'utilisateur peut définir une plage horaire quotidienne pour réaliser automatiquement ces actions.

L'interface se veut simple, compréhensible et efficace. Voici une capture d'écran :

Nom de la planification* ✕

Mode confort Lac 1 Sup.

Début de la planification* 15-11-2016 Fin de la planification* 29-04-2018

Heure:* 05:00 ✕ Heure:* 16:30 ✕

Jour de la semaine

Lun Mar Mer Jeu Ven Sam Dim

Concerne

Confort Lac 1 Sup Action répétée

Ajouter ✓

Figure 13: interface de création d'une programmation horaire

L'action « confort Lac 1 Sup » sera exécutée chaque jour à 5h00 entre les dates planifiées. À 16h30 l'action « réduit Lac 1 Sup » est exécutée. On peut exclure certains jours de la semaine. La coche « action répétée » active la répétition de l'action chaque minute. On peut ainsi forcer le mode confort durant toute la durée de la planification, qui prend la main sur les réglages manuels.

Une vision globale des planifications active est présentée dans la capture suivante :

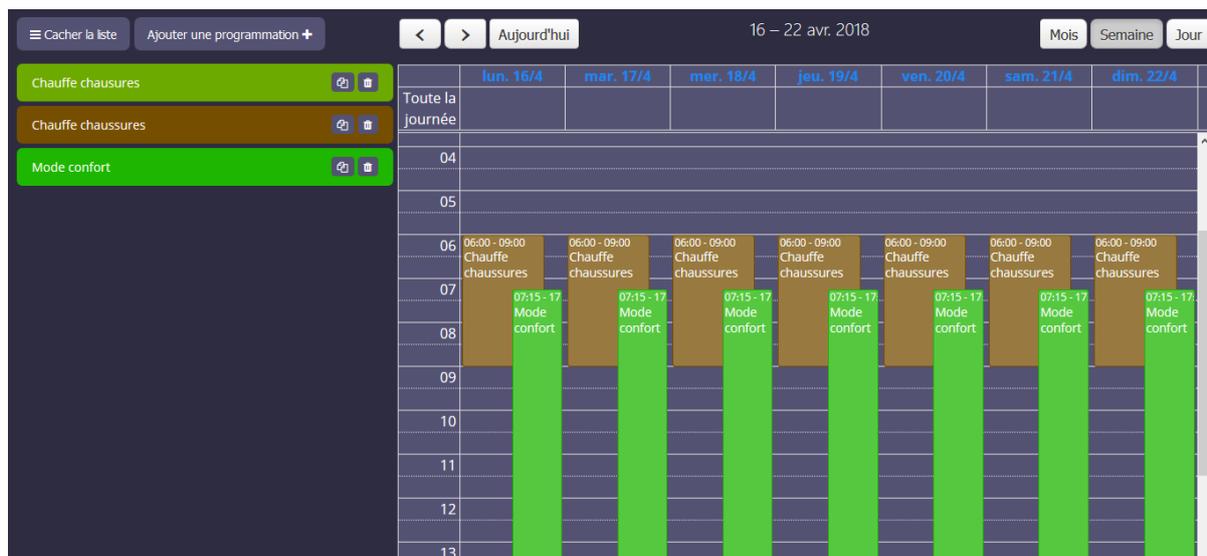


Figure 14: vue synthétique des programmations actives

6.2. Résultats sur l'énergie

6.2.1. Récupération de chaleur

Certains processus génèrent une chaleur fatale qui est intéressante à récupérer pour chauffer des locaux. Des études antérieures au projet ont permis d'identifier et équiper deux sites : le réducteur de la remontée Châble-Verbier pour chauffer le Medran Café, et le réducteur de la remontée Châble-Bruson pour chauffer le bâtiment attenant.

Châble-Verbier

Le monobloc de ventilation installé à la construction de la remontée était censé récupérer la chaleur ambiante à travers un échangeur pour chauffer l'air soufflé dans le café. Après avoir récupéré les informations pour afficher les valeurs sur la plateforme, il est apparu que le système ne fonctionnait pas du tout.



Figure 15: supervision du monobloc de ventilation

Visiblement le régulateur a été posé avec ses paramètres d'usine, puis mis en service sans configuration supplémentaire. La supervision des valeurs de température a permis d'identifier le problème et de corriger la configuration.

La récupération de chaleur est désormais fonctionnelle, de l'air chaud est pulsé dans les locaux. Sur le graphique suivant, on voit en rouge la température de l'air extrait, en vert l'air soufflé. On remarque bien la différence de comportement entre les deux périodes.

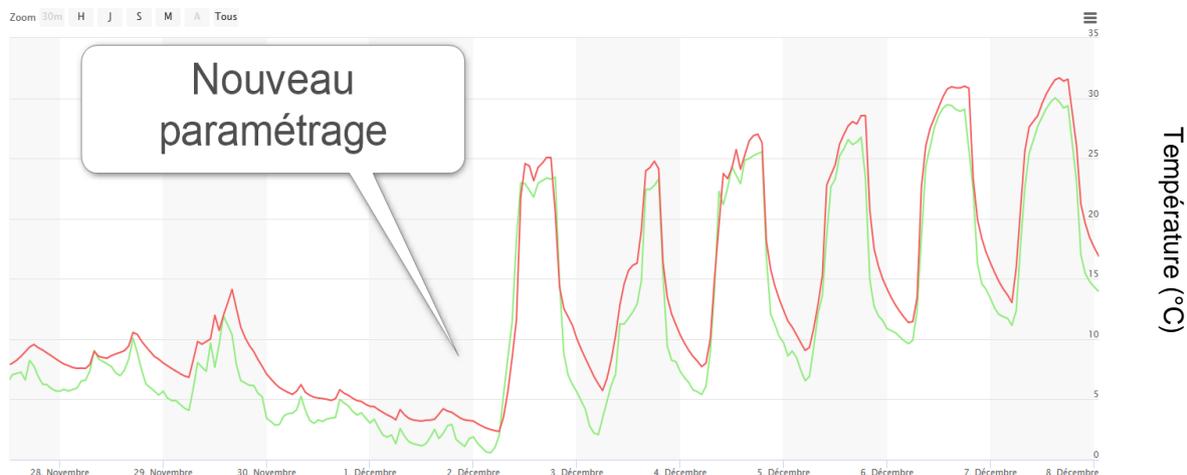


Figure 16: graphique des températures reprises et soufflées

Chable-Bruson

Le local machinerie qui abrite le moteur et réducteur reste très chaud durant l'exploitation de la remontée. Une pompe à chaleur air-eau a été installée lors d'une précédente collaboration entre Tél'éverbier, le CREM et Simnet SA. La PAC charge un ballon d'accumulation pendant les heures de fonctionnement, et ce ballon restitue la chaleur dans deux circuits de chauffage : chauffage de sol pour le bâtiment (cuisine, vestiaire, WC, cabanon), et des panneaux rayonnants pour le garage des dameuses.

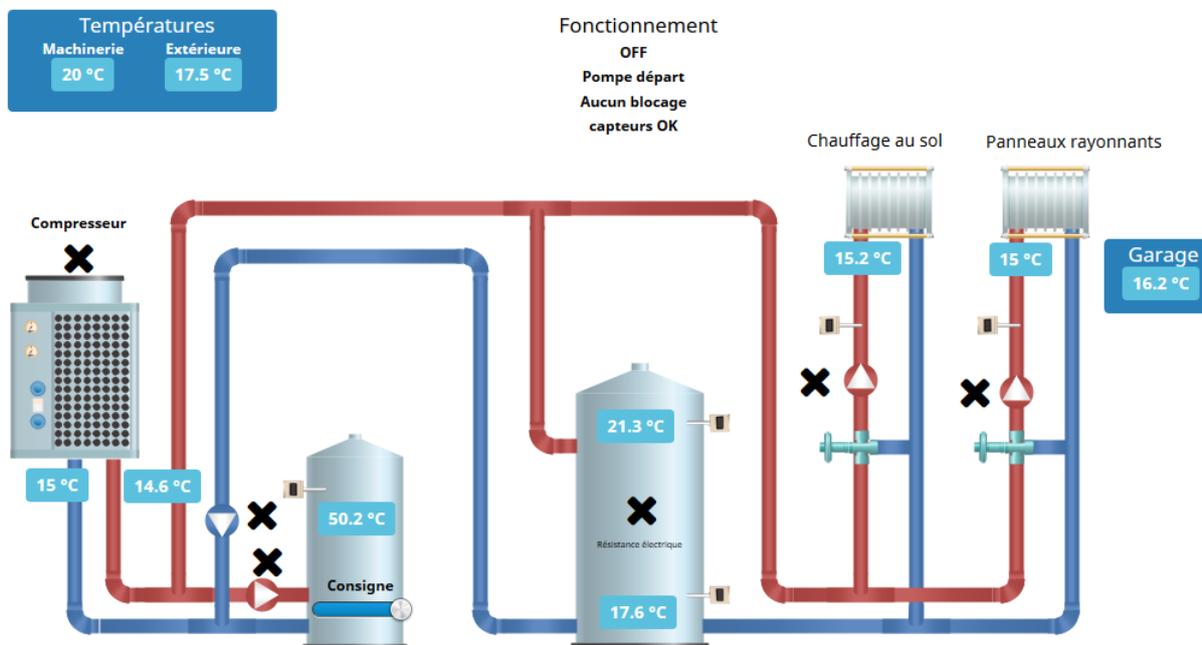


Figure 17 : Supervision de la production de chaleur de Bruson

La supervision de ce système a permis d'identifier une erreur de raccord hydraulique sur le second circuit, elle a pu être réparée.



Il n'y a pour l'instant pas de mesure de la consommation d'électricité. Il n'est donc pas possible de mesurer le COP réel de l'installation.

Afin d'estimer les rendements réels pour les températures de fonctionnement de l'installation, une régression a été réalisée sur la base des COP normalisés indiqués par le constructeur, en prenant comme modèle une courbe pondérée du coefficient de performance théorique, selon deux paramètres α et β .

Les figures suivantes indiquent les résultats obtenus :

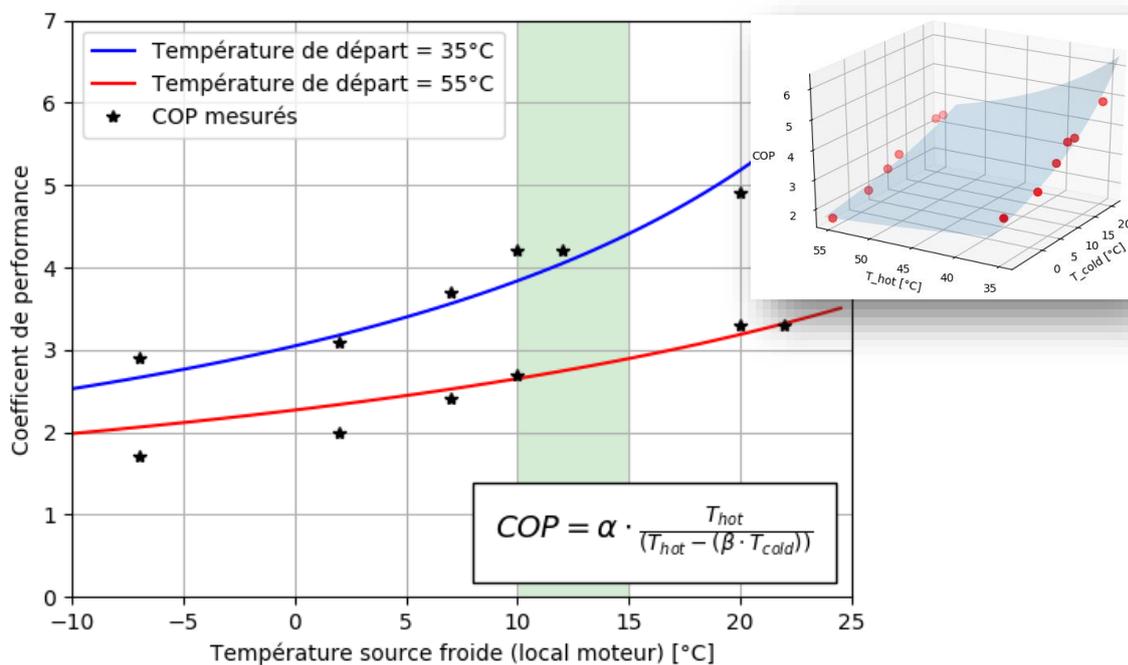


Figure 18: COP en fonction des conditions

Les résultats numériques donnent les valeurs suivantes :

- $\alpha = 0.46$
- $\beta = 0.95$

Ce modèle permet à la fois une estimation du COP réel, mais également d'identifier d'éventuelles dérives de fonctionnement de l'installation lorsque le COP réel sera mesuré, et de remonter l'alarme à l'opérateur.

La température relativement élevée de la source chaude (local machinerie entre 10 et 20°C) lors du fonctionnement de la remontée permet de produire de la chaleur avec une performance bien supérieure à un système équivalent sur air extérieur. En l'occurrence, une pompe à chaleur classique ne pourrait

pas exploiter son cycle thermodynamique dans les conditions hivernales à une telle altitude, et fonctionnerait uniquement sur sa résistance électrique. Le graphique suivant donne un échantillon de valeurs pour le COP moyen calculé :

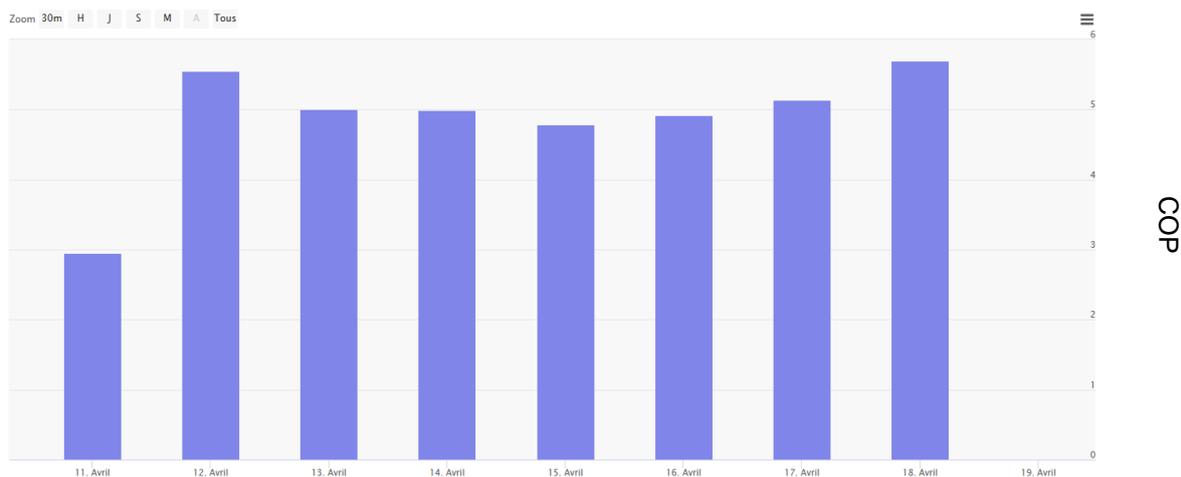


Figure 19: évolution du COP calculé

Le calcul a commencé le 11 avril. On observe des valeurs stables autour de COP = 5. La remontée a cessé de fonctionner pour la saison fin avril. On ne dispose donc seulement de quelques valeurs. Toutefois, au vu des conditions de fonctionnement, il ne semble pas imprudent de supposer que cet ordre de grandeur est valable pour toute l'exploitation.

La station supérieure de la remontée se situe en site isolé : en hiver l'accès est difficile. Les alternatives pour la production de chauffage reposant sur un combustible physique (mazout, pellets...) auraient nécessité un important volume de stockage, dont on s'affranchit avec le vecteur électrique.

6.2.2. Régulation des bureaux

En ce qui concerne les économies effectives par rapport à la situation initiale, les valeurs ne sont pas encore disponibles. En revanche nous avons eu accès aux valeurs de consommation avant les modernisations. Le seul bâtiment de Medran était responsable d'une consommation moyenne de 100'000 litres de mazout par an, soit 1'000MWh. La SIA estime un gain de 20% pour ce genre de changement, mais au vu de l'affectation multiple de ce bâtiment entre bureaux, commerces, et industrie, il est prudent de revoir ce chiffre à la baisse. La consommation de la partie bureaux, qui a fait l'objet d'une amélioration au niveau de la régulation, représente une fraction de la consommation totale, ce qui fait baisser le taux d'économie aux environs de 5%. Donc un gisement d'économies de 50MWh, soit 7'000CHF par année au tarif en vigueur.

Le reste de la consommation de chaleur est destinée au chauffage de surfaces d'atelier et de stockage, dont les consommations sont significatives. La plateforme permet de mettre en valeur la répartition des consommations, et une étude des moyens de réduire la partie imputable aux surfaces non administratives est envisagée avec Téléverbier.

6.2.3. Régulation des cabanons

Une campagne de mesure sur deux ans a permis d'estimer le gain énergétique de ce type de régulation à 20%. En extrapolant sur l'ensemble des cabanons régulés, on arrive à une somme de 34.6MWh, soit 3'500CHF d'économies au tarif en vigueur. Pour mettre en perspective, le temps de retour sur investissement est de 6.5 années pour l'équipement d'un cabanon. Cette valeur est bien évidemment une estimation moyennée afin de lisser les différences de situation entre les cabanons, dont certains bénéficient plus que d'autre de cette technologie.

6.2.4. Implantation d'énergies renouvelables

Ce volet a fait l'objet d'une étude bibliographique ne reposant pas sur l'exploitation de données *in situ*. Le présent sous-chapitre fait une synthèse des conclusions tirées pour chaque vecteur énergétique considéré.

Energie solaire :

Dans le cadre des partenariats avec les entreprises électriques, des cadastres solaires ont été établis pour les communes ayant fait la demande. Ces cadastres solaires permettent d'identifier les toitures propices à l'installation de panneaux solaires (thermiques et photovoltaïques). La commune de Bagnes a réalisé un cadastre solaire disponible sur le site suivant <https://geo.ciges.ch/bagnes/>. Basé sur des données Lidar, il permet d'établir un potentiel par pan de toit, et de tenir compte des effets liés aux bâtiments voisins (ombrage proche).

La figure suivante illustre la cartographie disponible sur le site :

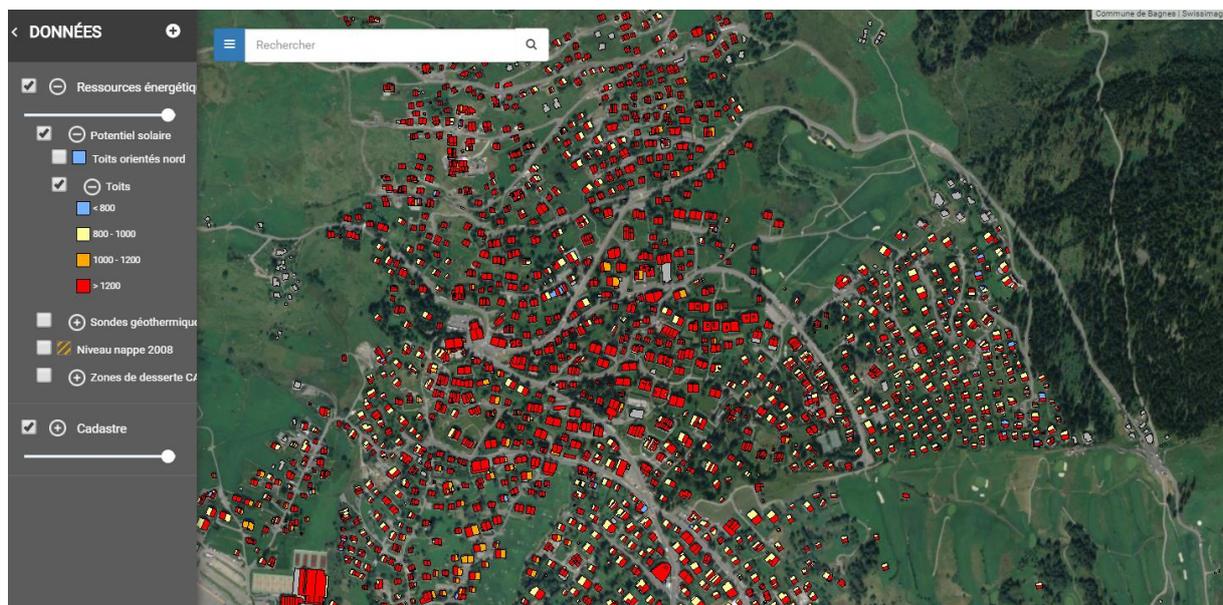


Figure 20: cadastre solaire

Les figures suivantes illustrent les informations fournies sur les bâtiments de Médran à Verbier et le bâtiment du départ du Châble.

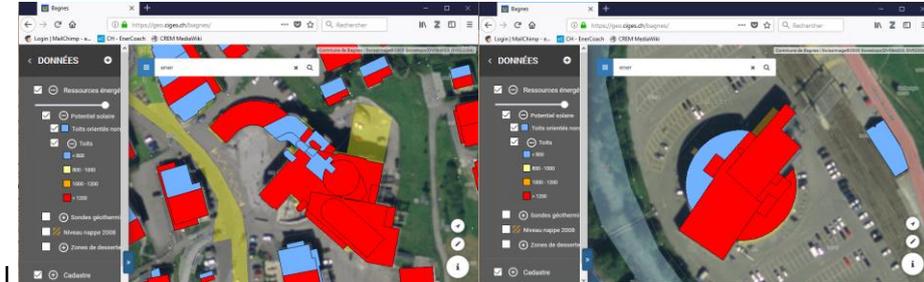


Figure 21 : détail de Medran (gauche) et Le Châble (droite)

Les productions estimées, sur les surfaces les plus productives sont de l'ordre de

- 70'000 kWh pour le bâtiment du Châble
- 85'000 kWh pour le bâtiment de Médran

Toutefois, les bâtiments et infrastructures de Téléverbier SA se trouvant en grande majorité hors de la zone village, ces derniers ne sont pas intégrés dans le cadastre solaire de la commune. Il serait intéressant de représenter également ces derniers sur le guichet cartographique communal.

Energie éolienne :

Les remontrées mécaniques situées en haute altitude telles que celles de Téléverbier SA offrent un potentiel éolien brut très intéressant.

Les cartes de vitesse moyenne du vent à différente hauteur par rapport au sol (50m, 70m et 100m) sont fournies sur tout le territoire suisse par le site www.wind-data.ch.

Comme le montre la carte suivante, le potentiel éolien se situe surtout sur les crêtes, à 50m du sol :

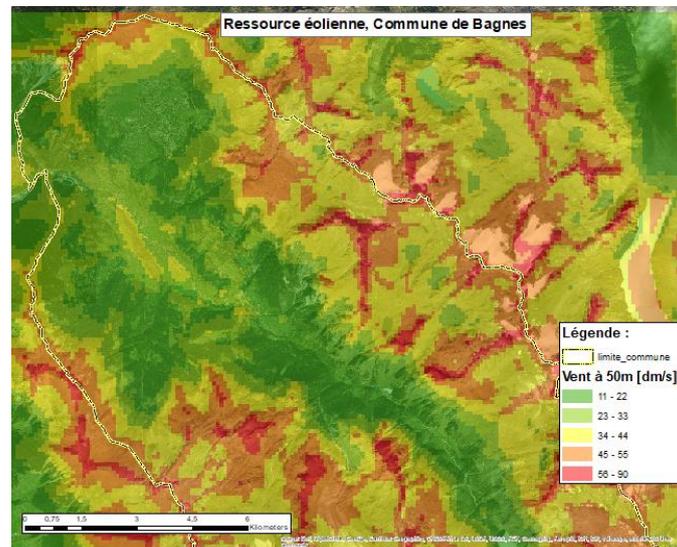


Figure 22: carte du potentiel éolien

Le Canton du Valais dans sa stratégie sectorielle « Energie Eolienne » restreint la dissémination des éoliennes sur le territoire en favorisant en premier lieu les grands sites de production éolienne de 10 GWh par an.

Pour l'instant, six sites répondant aux critères d'appréciation principaux ont été déclarés propices :

- Nufenen-Ägene
- Grand Chavalard
- Combe de Barasson
- Bourg-St-Bernard
- Gibidum
- La Chau/Culet

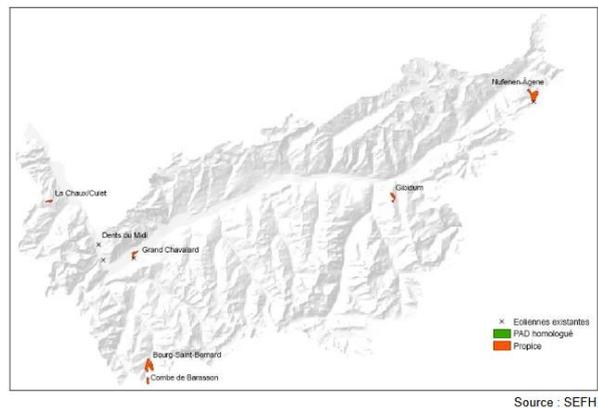


Figure 23 : Sites d'intérêt éolien

La commune de Bagnes, a par ailleurs qualifié, dans son Plan directeur des énergies, que le potentiel de l'énergie éolienne était peu intéressant au vu des prescriptions en vigueur.

Une installation pilote avait été envisagée en utilisant de petites éoliennes à axe vertical, disposées sur les pylônes des lignes de remontées mécaniques. Les caractéristiques énergétiques étaient les suivantes :

- Puissance : 2kW
- Energie annuelle estimée : 1'500 kWh

L'identification des infrastructures les plus intéressantes pour l'implantation de ces petites éoliennes avait été réalisée, dans le cadre du projet Espace Mont-Blanc villages durables, en calculant la vitesse de vent moyenne le long des remontées mécaniques :

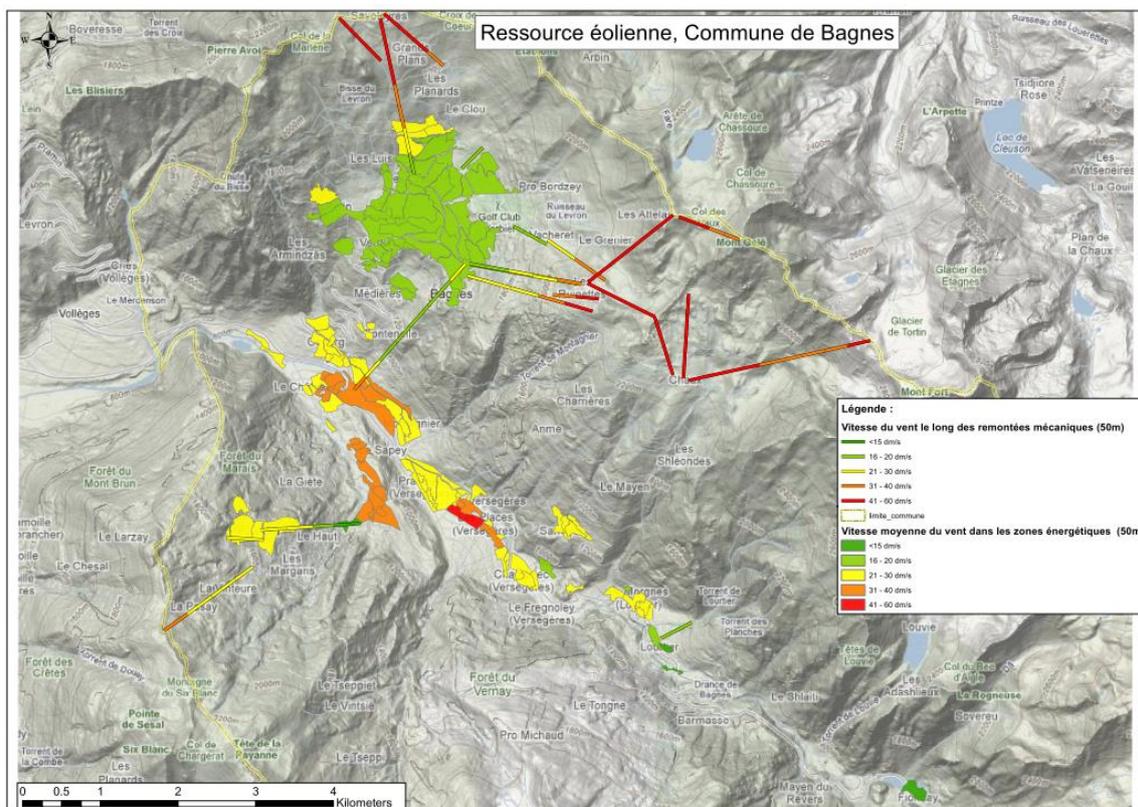


Figure 24: carte des vitesses de vent

Le Canton du Valais avait donné son accord pour la pose d'une installation pilote, pour autant que cette dernière couvre une partie substantielle de la consommation d'énergie ce qui n'était présentement pas le cas.

De plus le projet n'aurait pas pu aboutir en raison des exigences de l'OFT qui proscrie le transport de courant le long des pylônes.

Géothermie

Dans les zones de montagne, l'énergie du sous-sol peut être exploitée par une pompe à chaleur et des sondes géothermique verticales (SGV).

Toutefois, ces dernières sont soumises à la loi sur la protection des eaux souterraines. Le SIT de la commune de Bagnes permet de tenir compte de la carte d'admissibilité du canton du Valais

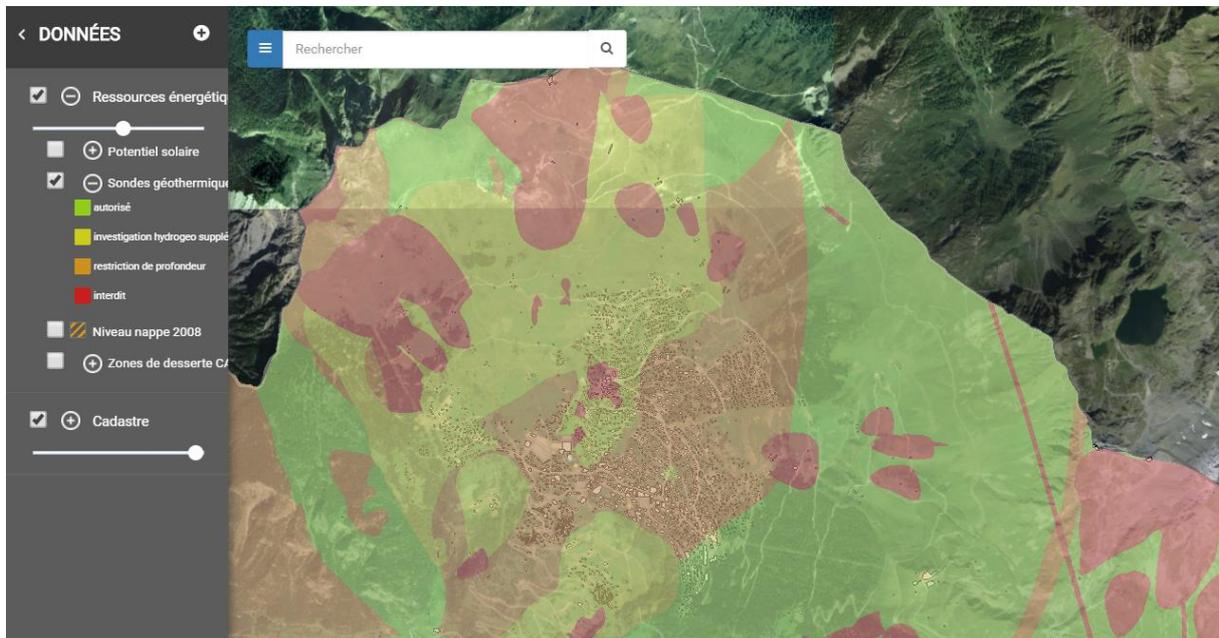


Figure 25: potentiel de production géothermique

Comme le montre la figure ci-dessus, l'arrêt téléphérique La Chaux est situé sur une zone favorable à une exploitation de la chaleur du sous-sol.

6.2.5. Consommation d'énergie

Téléverbier, en tant que grand consommateur, dispose de compteurs avec télérelève. Plutôt que d'utiliser des ressources temporelles et financières pour équiper tout le domaine avec des compteurs communicants, nous avons décidé de valoriser l'existant. Une procuration nous a permis de récupérer les valeurs auprès de services industriels.

Chaque jour, les services industriels envoient des fichiers eBIX sur un répertoire. Il s'agit de fichiers détaillant la consommation quart horaire des compteurs principaux. Un service s'occupe de parcourir ces fichiers afin d'exporter les valeurs vers l'application.

Sur l'application les consommations sont historisées et agrégées par heure, jour, semaine, mois, année. Le logiciel sur lequel tourne l'application dispose d'un éditeur de graphique, mais celui-ci n'était pas adapté au grand volume de données à afficher dans le cas des consommations. Nous avons donc mis en place une solution tierce : influxDB + grafana. InfluxDB est une Time Series DataBase, qui facilite grandement l'agrégation des données avec des requêtes SQL. Grafana est simplement un moteur d'affichage de ces données.



Figure 26: évolution de la consommation quart-horaire pour la remontée Chable-Verbier

Comme ci-dessus, le graphique est paramétré pour afficher la consommation d'un ou plusieurs compteurs, avec plusieurs pas de temps. Le temps nécessaire à la configuration pour arriver à ce résultat est bien inférieur avec cette solution qu'avec l'application jeedom.

6.2.6. Prédiction de la consommation d'électricité

L'exploitant de domaine skiable représente un gros consommateur pour les distributeurs d'électricité. Les programmes prévisionnels sont réellement importants pour ces derniers car ils guident le commerce de l'énergie : une prévision exacte des besoins énergétiques est un facteur majeur en ce qui concerne les achats et les ventes d'énergie et les coûts y relatifs. L'objectif de ce module est de réaliser diverses prévisions énergétiques afin de pouvoir à terme :

- Transmettre ces informations et donner plus de visibilité aux services industriels en charge de l'approvisionnement énergétique de TéléVerbier
- Mettre en place une régulation de vitesse des remontées mécaniques afin d'optimiser la consommation électrique.

Il a été décidé de fixer des objectifs suivants :

- Prédiction de la consommation énergétique horaire du domaine skiable en utilisant les données historiques de consommation, les données météorologiques et les données de temporalité
- Prédiction de la consommation énergétique horaire des moteurs seuls en excluant les autres consommateurs (bâtiments, canons à neige, ...)
- Prédiction de passage horaire



Méthodologie

En s'appuyant sur l'expérience acquise lors du développement de solution pour la prévision de courbe de charge et de production de nouvelles énergies renouvelables, une méthodologie relativement standard a été adoptée :

- 1- Acquisition des données,
- 2- Nettoyage des données,
- 3- Analyse des données et développement d'algorithme de Machine Learning pour effectuer les prévisions.

Résultats

Acquisition et nettoyage des données

L'acquisition et le nettoyage des données a pris un temps relativement important. On le remarque dans ce type de projet, l'effort nécessaire à l'acquisition de donnée est une phase systématiquement sous-estimée.

Les données à disposition pour effectuer les prévisions sont les suivantes :

Consommation électrique - données EBIX

Moteur, Pompage, Canons à neige, Service interne, restaurant et bâtiment

Historique : donnée horaire dès Aout 2015 avec de nombreuses de données manquantes

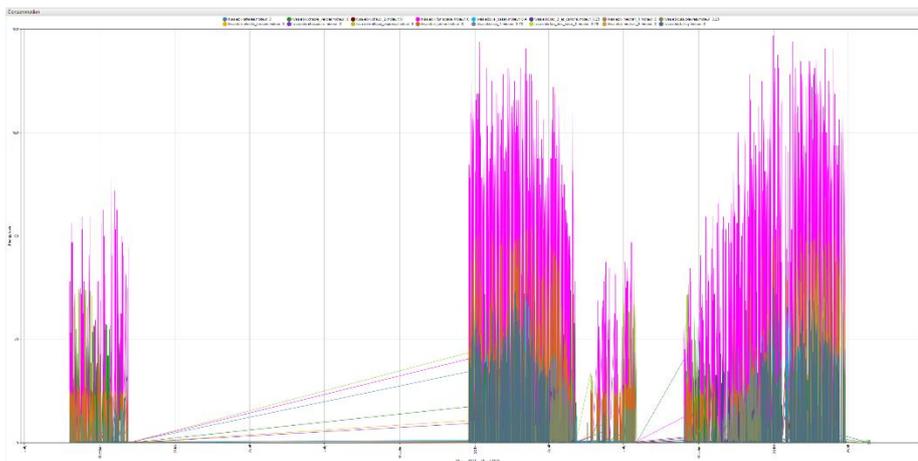


Figure 27: Données de consommation des moteurs importants

Malgré un historique de 3 ans on constate qu'il y a un nombre non négligeable de données manquantes. A titre d'exemple, les données de la saison 2015-2016 ne sont pas vraiment utilisables, il manque une bonne partie de l'année et les valeurs semblent nettement plus faibles qu'en 2016.

Passages aux portiques des installations de remontées mécaniques

Historique données horaires, dès novembre 2014

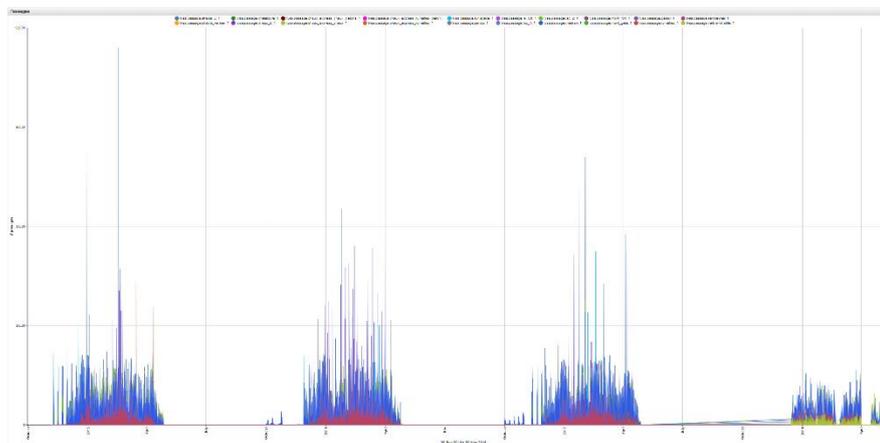


Figure 28: Données de passage depuis 2014

On dispose d'un historique de 4 saisons. Pour plusieurs installations, on constate des données de passage nettement plus faibles pour la saison 2017-2018. Il y a également davantage de données manquantes pour cette même saison, notamment pour la période fin février début mars 2018.

Météo - station Attelas et Verbier

Ensoleillement, humidité, température,
Données réelles et données de prévisions

Temporalité

Vacances et jours fériés en Valais

Les données sont transmises tous les jours par Simnet sur un site FTP. Un script en python traite par la suite ces données pour les stocker sur une base de données série temporelle. Cette base de données est utilisée pour analyser les données et effectuer des prévisions.

Analyse des données

L'analyse des données peut se diviser en trois axes différents :

- Analyse de la pertinence des données (données manquantes, fréquence d'acquisition, ...)
- Clusterisation des données par régions, type de services, temporalité,
- Etude de corrélation entre les différents types de mesures.

Le chapitre précédent a déjà mis en évidence la problématique liée aux données à disposition.

Des analyses de clusterisation ont été effectuées à deux niveaux :

- géographique par secteur : Savoleyres, Verbier, Bruson et Mont-Fort

- type de consommateur : moteurs, bâtiments, canons à neige et pompages

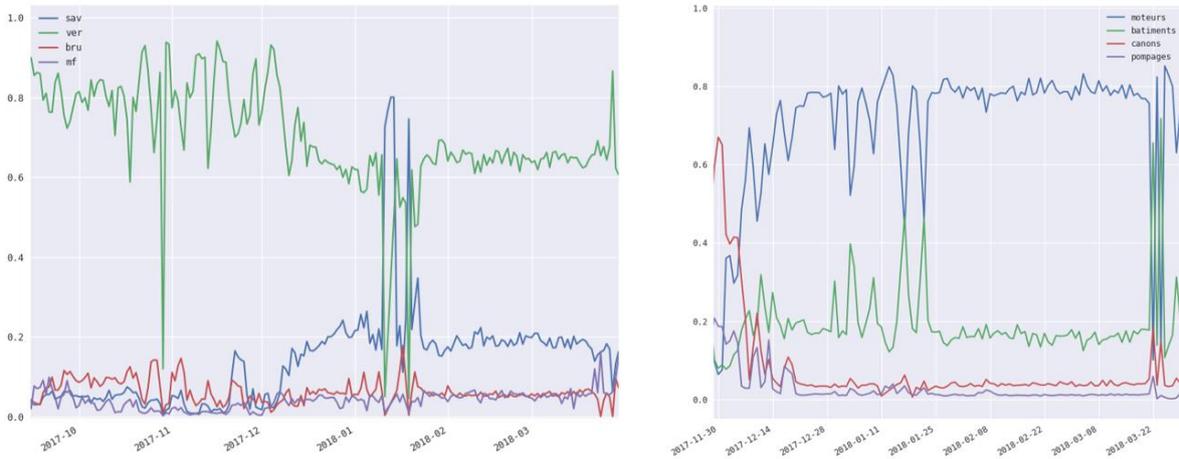


Figure 29: proportion de la consommation totale par secteur (à gauche) et par poste (à droite)

Conclusion de ces analyses

D'un point de vue géographique, hormis quelques variations importantes non expliquées, on constate essentiellement que certaines régions consomment plus que d'autres. La région de Verbier est le principal consommateur avec un peu plus de 60 %, ensuite on a la région de Savoleyres qui a une part de 20 %.

D'un point de vue type de consommateur, on constate des tendances d'utilisation assez évidentes. A titre d'exemple, on remarque que l'utilisation des canons est plus importante en début de saison. L'étude énergétique, nous montre que les moteurs des installations sont le principal consommateur d'énergie lorsqu'ils sont en fonction (80 %).

Le schéma ci-contre met en évidence les corrélations entre les différentes données :

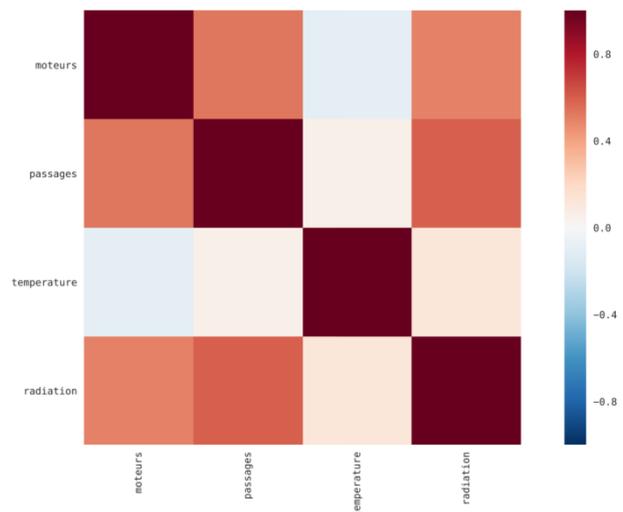


Figure 30: illustration des corrélations

- On a une corrélation entre les passages et les moteurs des installations avec un coefficient de 0.6.
- La température n'a pas une grande influence sur la consommation des moteurs et le nombre de passages.

- Par contre l'ensoleillement (radiation) est fortement corrélé à la consommation des moteurs avec un coefficient de corrélation proche de 0.8

Certaines corrélations s'expliquent assez facilement alors que d'autres sont plus délicates à interpréter. Par exemple, plus il y a de soleil (radiation importante), plus la fréquentation est élevée et plus la consommation des moteurs est importante.

Prévisions

En fonction de l'utilisation des prévisions nous avons décidé d'effectuer 2 types de prédictions une fois par jour.

- *Forecast day ahead* : prévision faite à 09 :00 pour le lendemain sur une base horaire
- *Forecast-intraday* : on refait la prévision à 09 :00 pour le jour même sur une base horaire

Avant d'effectuer la prédiction, les données sont traitées en effectuant une régularisation, une normalisation et si nécessaire une PCA (Principal Component Analysis). Les données sont ensuite séparées en 2 sets : set d'entraînement et set de prédiction. Un algorithme va ensuite générer un modèle de prédiction à partir des données d'entraînement. Pour estimer l'efficacité de la prédiction, on utilise la PMAD (percent-mean absolute deviation) :

$$PMAD = \frac{\sum |y_{reel} - y_{predict}|}{\sum y_{reel}}$$

Où $y_{predict}$ est la valeur estimée et y_{reel} la valeur réelle

Les algorithmes utilisés dans le cadre de ce module se basent uniquement sur des solutions Open Source.

Prévision de la consommation énergétique globale et des moteurs en particulier

Les résultats obtenus pour la prévision globale et la prévision des moteurs sont similaires. Sur le mois de février 2018, la PMAD est de 14% pour le *Forecast Day Ahead* et de 12% pour le *Forecast Intraday*. A titre de comparaison, la PMAD pour la prévision en day-ahead de consommation pour une industrie se situe autour de 3% alors que la PMAD pour la prévision en day-ahead de production d'électricité avec des panneaux solaires photovoltaïques se situe autour de 20%.

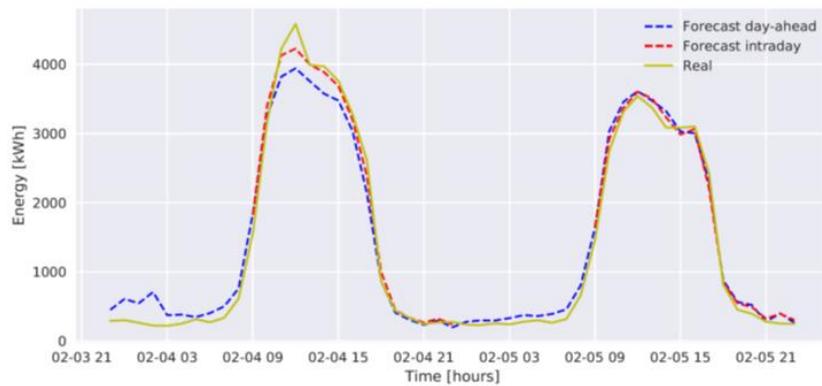


Figure 31: Préviation Février 2018 - Consommation totale

La qualité de la prévision pour février 2018 semble intéressante. C'est le mois pendant lequel la qualité des données est la plus élevée. Nous possédons des données consistantes pour l'ensemble du mois et nous constatons également qu'il y a eu peu d'évènements particuliers comme par exemple un arrêt prolongé des installations.

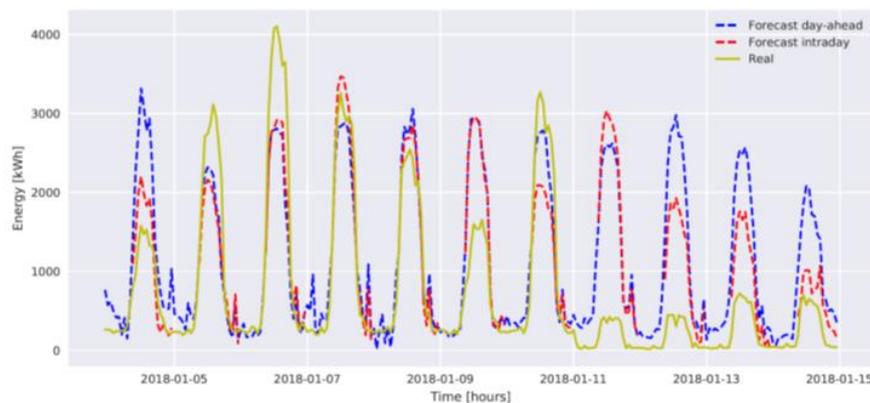


Figure 32: Préviation Janvier 2018 - Consommation totale

Malgré de bons résultats en février, le modèle peine sur d'autres périodes. A titre d'exemple, en janvier 2018, la prévision est sensiblement moins bonne. Sur le graphique ci-dessus, on note une baisse de la consommation le 9 janvier. On voit que l'algorithme de prévision *intraday* tient compte de ces nouvelles données et s'attend à une consommation plus faible le 10 janvier, alors que l'algorithme en *day-ahead* n'intègre ces informations que pour le jour suivant à savoir le 11.

Un autre élément intéressant est la baisse importante de consommation réelle constatée à partir du 11 janvier. Aujourd'hui l'algorithme n'arrive pas à anticiper ce genre de changements. Il faudrait mieux comprendre le phénomène et intégrer les données qui influencent ce comportement. On pourrait imaginer qu'une des raisons est la fin des vacances. Il faudrait vérifier si c'est le cas et potentiellement améliorer nos données de temporalité en intégrant davantage de données.

Les PMAD représentées ci-dessous confirment les résultats visuels observés dans les graphiques ci-dessus.

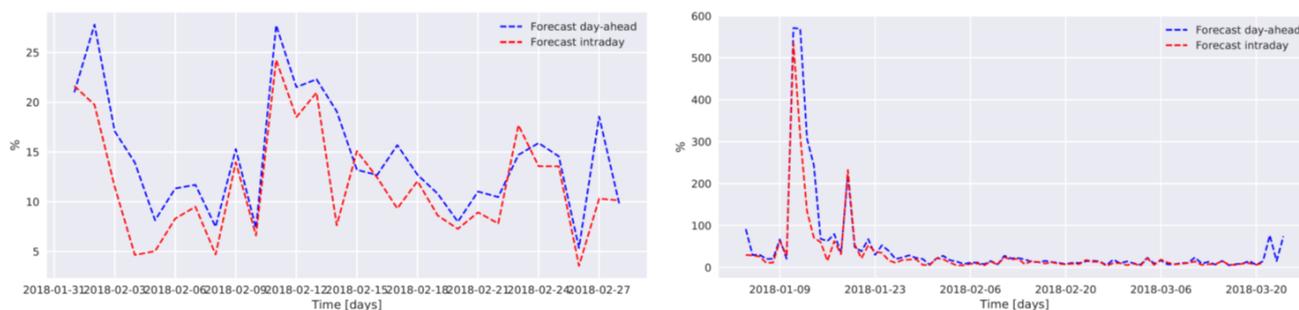


Figure 33: PMAD Janvier (gauche) et Février (droite) 2018

Prévision des passages

Les résultats de prévision de la somme totale des passages pour l'ensemble du domaine skiable à une fréquence horaire ne sont pas concluants. Les PMAD obtenues sont trop grandes. Ces résultats s'expliquent par les données à disposition. Par ailleurs, nous n'avons pas réussi à modéliser les instants où les passages tombent à zéro dans nos algorithmes. Ces événements peuvent avoir lieu suite à des pannes ou à des conditions météorologiques particulières comme un vent trop important.

Conclusions et améliorations possibles

La première conclusion à noter est le potentiel du Machine Learning. Des premiers résultats encourageants ont été obtenus pour la prévision de la consommation énergétique et ce malgré un set de données peu étoffé. La qualité des prévisions doit être améliorée si on souhaite pouvoir transmettre à des fins utiles des informations pour piloter les remontées mécaniques ou pour gérer l'approvisionnement en électricité d'un exploitant de remontées mécaniques.

Afin d'améliorer la qualité des prévisions, les tâches suivantes devront être réalisées :

- Amélioration de la qualité des données existantes : davantage d'historique, combler les données manquantes, ...
- Modélisation des flux de skieurs en intégrant les coordonnées géographiques du positionnement des installations dans les algorithmes de prévisions
- Intégrer de nouvelles données aux modèles de prévisions : force du vent, flux d'information des exploitants concernant les mise hors-service planifiées des installations

On notera également qu'à terme il pourra être intéressant de développer des prévisions intraday. Le temps de calcul pour la prédiction ne dépassant pas les 10 minutes, il est tout à fait imaginable d'effectuer les prédictions plusieurs fois par jour lorsque les résultats atteints seront probants.

6.2.7. Régulation de vitesse des remontées mécaniques

Les études menées lors du projet Observ qui a précédé Smart Ski Resort ont mis en évidence une forte influence de la vitesse des remontées sur la consommation électrique. Vu la proportion majoritaire de ce poste dans les frais totaux d'exploitation, il fut logique de s'intéresser à des moyens d'influer cette consommation des moteurs. La première piste fut donc de mettre en place une régulation de la vitesse des installations.



Limitation de la puissance

Le pic de puissance appelée peut être réduit en limitant la vitesse. Cependant plusieurs facteurs amoindrissent l'utilité d'une telle mesure : actuellement le prix imputable à la taxe de puissance est largement minoritaire à côté de la consommation en énergie. D'autre part, l'impact de la réduction de vitesse est plus fort pour les grandes fréquentations. Ce qui signifie que la logique voudrait que plus il y a de monde, plus l'installation ralentit. Or cela ferait baisser drastiquement la qualité du service.

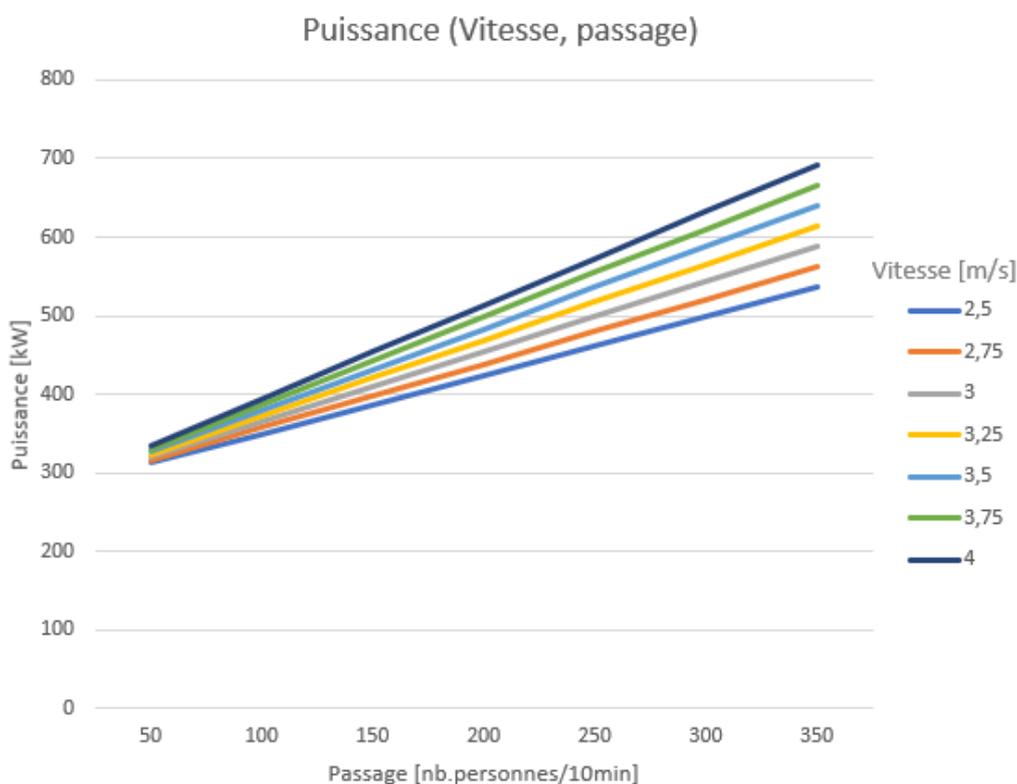


Figure 34 : puissance consommée en fonction de la charge pour plusieurs vitesses

Pour contourner le problème, on peut considérer la consommation d'énergie. Même si l'efficacité de la réduction de vitesse diminue avec la réduction du débit horaire, il est toujours utile de faire des économies. C'est lorsque la remontée est la moins fréquentée que l'on peut réduire la vitesse sans influencer la fluidité du trafic et l'expérience du client, quitte à ce que l'impact ne soit pas optimal.

Une réflexion approfondie sur les possibilités de régulation de vitesse a mis en évidence les points suivants :

- Il serait possible d'exploiter la valeur quart horaire des passages aux bornes pour estimer la fréquentation instantanée d'une installation.
- L'OFT dispose de prescriptions réglementaires fortes sur ce qu'il est possible de faire sur une remontée mécanique

- Les intégrateurs des remontées mécaniques sont assez peu disposés à collaborer pour modifier leurs systèmes
- Certains de ces équipementiers sont en cours d'élaboration d'une solution similaire
- Il est possible de rajouter un capteur de vitesse de câble sans passer par le système en place
- Même sans agir concrètement sur l'installation, une régulation pourrait donner une indication de pilotage au personnel. Sur la base d'un algorithme avec pour inputs la consommation et les passages quart-horaires, ainsi que l'heure actuelle et la vitesse du câble, il est envisageable de fournir une valeur optimale de vitesse d'exploitation. Cette vitesse serait un compromis entre lenteur pour les économies, et rapidité pour la satisfaction client
- À Téléverbier le personnel est déjà formé pour mettre en œuvre ce genre de comportement, de façon manuelle et qualitative
- La modification de la vitesse ne doit pas être trop fréquente, car s'il est très difficile d'estimer la vitesse exacte du câble, une variation de celle-ci est immédiatement ressentie
- Une vitesse minimale doit être respectée, car si la remontée s'arrête, les clients pensent qu'elle est fermée

Malgré le fait que gagner quelques pourcents représenterait une économie similaire voire supérieure à toutes les autres mesures d'efficacité énergétique, nous n'avons pas poursuivi cette voie en raison des obstacles au niveau des constructeurs et de la réglementation. Toutefois, il nous a paru crucial de synthétiser les réflexions dans ce rapport, pour tout usage futur.

7. Discussion des résultats

7.1. Feedback de Téléverbier sur l'outil

La première implémentation de la plateforme telle que développée dans ce projet s'est distinguée par sa rapidité. Les pages sont assez légères et s'affichent en peu de temps, ce qui évite une certaine frustration lors de l'utilisation.

Le planificateur a eu du mal à convaincre à ses débuts. En raison de la relative complexité de mixer front et backend, les premières versions furent assez instables. Des améliorations successives ont été faites au cours des échanges avec Téléverbier. Les employés responsables des secteurs ont été formés, et ils ont pu prendre en main le planificateur.

Dès sa mise en service, la plateforme a rapidement pris sa place d'interface privilégiée entre Téléverbier et les appareils et processus du domaine. La facilité d'accès aux informations et commandes, en plus de leur centralisation au sein d'un outil unique a fait de la plateforme Observ un succès immédiat.



7.2. Difficultés rencontrées

7.2.1. Déploiement VM

Le déploiement des VM pour les hubs a nécessité une phase de tests et de préparation. Tout d'abord, le temps nécessaire au déploiement d'une VM n'est pas colossal en soi, mais multiplié par le nombre de VM, cela devient vite beaucoup. Nous avons donc opté pour la création d'un modèle, car une duplication est bien plus rapide qu'une création *ex nihilo*. De plus, on peut régler un grand nombre de paramètres de base. Nous avons ensuite créé un petit script qui venait automatiquement modifier les paramètres qui sont différents pour chaque hub (nom de la machine, adresse IP, etc...). En définitive, le déploiement d'une VM se résumait à quelques clics pour dupliquer le modèle, 3 minutes d'attente, puis le lancement du script avec les bons paramètres. Le tout était opérationnel en une dizaine de minutes.

7.2.2. Conflit matériel

Une autre difficulté est apparue du fait de la présence d'équipements résiduels des projets précédents sur le réseau. En effet, avant d'en arriver à la solution utilisée dans ce projet, d'autres systèmes ont été mis en place. En tout premier, des raspberryPi ont été installés dans les armoires informatiques à côté de chaque passerelle. Ils embarquaient une solution logicielle similaire à Jeedom, mais en bien moins performant et user-friendly. Ils ont été démontés pour la plupart, mais certains ont simplement été arrêtés. Sous certaines conditions, il est possible (et c'est arrivé), qu'ils redémarrent. Dans ce cas ils reprennent une adresse IP et s'annoncent sur le réseau. Et si comme nous avons déployé des VM pour les remplacer avec la même adresse IP, des conflits sont apparus.

7.2.3. Maintenance

Après les raspberryPi, nous avons fait déployer des VM par Téléverbier, qui faisaient office de hub et application. Ces VM étaient fonctionnelles, mais elles étaient un fardeau pour Téléverbier puisqu'il fallait une intervention de leur part pour les gérer ; cela engendrait pour eux des coûts de main d'œuvre et pour nous une dépendance envers leur service informatique. Petit à petit ces VM ont été remplacées par des nested VM pour la solution définitive.

7.2.4. Aide à la décision

La remontée d'informations sur la consommation des différents compteurs était censée permettre à Téléverbier d'identifier et de mettre en place des actions d'efficacité énergétique. Au fur et à mesure que les fonctionnalités de la plateforme se sont étoffées, nous nous sommes rendu compte que la partie opérationnelle était plus importante au regard des responsables et utilisateurs de la plateforme. Les questions énergétiques, sans les désintéresser, étaient moins présentes dans leurs préoccupations quotidiennes.

Les données énergétiques ont en revanche été beaucoup plus utiles aux partenaires du projet à des fins de recherche. On en a conclu que la partie décisionnelle n'était pas utilisée à son plein potentiel par Téléverbier, mais l'entreprise en bénéficiait tout de même indirectement. Par exemple à travers l'élaboration d'un plan de management de l'énergie, la priorisation des efforts d'étude sur les gros consommateurs, etc...

7.3. Economies d'énergies

Les réductions de consommation sont le résultat d'actions menées indépendamment du projet de construction de la plateforme. Celle-ci ne génère pas d'économies de façon intrinsèque, mais elle met en lumière les pistes d'amélioration.

Au cours du projet, nous avons été amenés à poser des équipements de mesure, et nous avons pu visiter en détail de nombreux bâtiments. L'intégration de certains systèmes à la supervision générale a conduit indubitablement à une meilleure appréhension de leur fonctionnement, et parfois à un meilleur pilotage. La récupération de chaleur dans la machinerie de Médran en est un excellent exemple.

Le grand défaut de la démarche adoptée dans ce projet fut de ne pas observer de période de mesure des consommations en tant que référence. Les actions d'amélioration identifiées ont été faites quasiment systématiquement sans prendre soin d'en mesurer l'impact. D'où la faible quantité de données chiffrées sur les économies réalisées depuis le début du projet.

Toutefois, la disponibilité des données de consommation fait qu'il sera plus aisé dans le futur de mesurer l'impact d'éventuelles actions. Par exemple, une chaudière à mazout arrive en fin de vie aux Ruinettes. Au lieu d'effectuer le remplacement directement, Téléverbier a différé la décision d'une année, le temps d'effectuer une campagne de mesure afin de trouver des alternatives. Durant cette année, la consommation de combustible sera monitorée, ainsi que les températures de départ dans les différents circuits. Une étude sera menée pour déterminer comment réduire les consommations avant de changer la production de chaleur. Le monitoring devrait continuer encore par la suite afin de quantifier les résultats.

7.4. Rentabilité de la plateforme

La requête de projet tablait sur une économie annuelle de 10%, tous usages confondus. Comme vu au chapitre sur la régulation des remontées mécaniques, les économies dans ce domaine ne sont pas encore tout à fait atteignables. Étant donné que ce domaine représente 80% de la consommation totale, le gisement d'économies s'en trouve par conséquent fortement réduit.

Malgré tout, en ciblant les sites où la plateforme Smart Ski Resort a donné de bons résultats lors de ce projet pilote, et en prenant en compte que le développement est abouti, on peut estimer la rentabilité d'un projet de déploiement. Il est impossible de donner une formule générale applicable partout mais les points suivants permettent d'esquisser un chiffrage. Les valeurs sont données à titre indicatif et ne sauraient remplacer une pré-étude de faisabilité.

Équipement des cabanons

Il faut compter environ 1'500CHF par cabanon, avec un ROI de 7ans. Le retour sur investissement ne rend hélas pas compte du gain en termes de facilité de gestion et de flexibilité pour l'exploitant.

Équipement des bureaux

Selon la situation initiale, un upgrade de la régulation permet d'aller jusqu'à 20% d'économies. L'ordre de grandeur du coût d'installation est de 1'000CHF par pièce.

Récupération de chaleur



Les situations où des rejets de chaleur sont exploitables pour le chauffage d'espaces occupés par le personnel ou la clientèle sont très courantes dans le milieu des remontées mécaniques. Le coût et le retour sur investissement doivent être estimés avec une pré-étude, mais l'intérêt financier de telles solutions est certain, sans parler de l'intérêt pratique et écologique.

Paramètres non financiers

L'amélioration de la gestion, l'identification aisée de mesures d'efficacité, la flexibilité pour l'exploitation, la communication externe sur les efforts liés aux économies d'énergie, la connaissance fine des paramètres d'exploitation (passages, etc...) sont autant de paramètres qu'il convient de rentrer dans l'équation afin de juger de l'intérêt du déploiement d'une solution de gestion centralisée telle que Smart Ski Resort.

7.5. Interprétation des données

La supervision des procédés (en particulier de production et distribution de chaleur) permet d'améliorer la compréhension du fonctionnement de ces procédés. Sur ces bases, nous avons pu identifier un certain nombre de dysfonctionnements, et déceler des pistes d'optimisation.

Ce travail de réflexion et d'analyse s'est fait en parallèle avec l'intégration pure et simple des données sur un dashboard. Il n'a pas toujours été évident de distinguer ces deux approches. Du point de vue du projet Smart Ski Resort, l'intégration des supervisions est une première étape, et l'interprétation en vue de l'optimisation intervient dans un second temps.

Dans l'optique de la reproduction de l'installation de la plateforme ailleurs, il sera pertinent de ne pas accaparer du temps de travail pour de l'interprétation lors de la phase de déploiement. Les analyses menant à des actions d'efficacité énergétique doivent se faire *a posteriori* dans le cadre d'un mandat d'accompagnement ou bien directement en interne par la structure utilisatrice de la plateforme.

Potentiel pour futures études

De nombreux paramètres sont suivis et historisés. Dans le cas où un organisme souhaite faire une étude chiffrée sur un domaine quelconque (et en particulier dans le domaine énergétique), Téléverbier dispose déjà d'une quantité de données utilisables en l'état.

Par exemple dans le cadre de la mesure et vérification par le protocole IPMVP, le monitoring des paramètres lors de la période de référence est déjà disponible (suivant les cas). On se préserve donc d'une partie de la campagne de mesure préliminaire, ce qui réduit les coûts et les délais.

8. Conclusions

L'outil développé au cours de ce projet répond de façon pertinente au besoin de Téléverbier SA. La plateforme n'est pas aussi avancée en termes de fonctionnalités d'analyse de données que certaines solutions dédiées existantes sur le marché, mais sa grande force est surtout sa polyvalence. L'équilibre entre outil d'aide à la décision et outil de pilotage d'exploitation en fait un logiciel tout à fait unique.

La multitude de procédés intégrés de façon centralisée est une plus-value substantielle pour la facilité de pilotage des installations. L'utilisation quasi quotidienne par certains membres du personnel incite à penser que le cahier des charges a été bien établi.

La reproductibilité du projet est certaine d'un point de vue technique. La mise en service de la plateforme nécessite tout de même un certain volume horaire pour la configuration de la remontée d'information ainsi que de l'affichage des valeurs. Les tableaux de bords sont fait sur-mesure plutôt que via des modèles, ceci afin d'avoir la plus grande flexibilité possible vis-à-vis de la situation d'implémentation de la plateforme (entreprise, commune, etc...).

Le déploiement d'un tel outil sur un domaine skiable peut donner lieu à des économies d'énergie intéressantes, de l'ordre de 10% sur les bâtiments équipés. Si le volume de bâtiments équipés est suffisamment grand, le coût initial de mise en place est mieux dilué et fait augmenter le retour sur investissement. De plus, les avantages en termes de gestion sont nombreux, en particulier du fait de la connaissance des processus sur le domaine et la maîtrise des installations techniques. La prévision de consommation est une fonctionnalité expérimentale qui montre un excellent potentiel, et Téléverbier ainsi que le gestionnaire du réseau ont exprimé leur grand intérêt au développement de cette fonction.

Les objectifs de ce projet pilote étaient de valider ces deux points : économies d'énergie et facilité de gestion. Le premier point est une réussite en demi-teinte, puisque les économies sont avérées, mais laissent de côté les plus gros postes de consommation (RM et enneigement). Le second point est en revanche bien réussi et de ce fait valide la pertinence d'un outil tel que Smart Ski Resort.



Glossaire

CAD : Chauffage à distance.

CMS : Content Management System, pour gérer le contenu d'un site internet.

COP : Coefficient Of Performance, rend compte de la performance d'une pompe à chaleur

ESX : Hyperviseur de VMWare. Permet de créer et gérer des machines virtuelles.

FTP : File Transfert Protocol

GTB : Gestion Technique du Bâtiment

IPMVP : International Performance Measurement and Verification Protocol

OFT : Office Fédéral des Transports

OS : Operating System

PAC : Pompe A Chaleur

PCA : Principal Component Analysis

PMAD : Percent-Mean Absolute Deviation

RM : Remontée Mécanique

SGV : Sonde géothermique verticale, organe de la PAC responsable de la captation de chaleur du sol.

SIT : Système d'Informations Territoriales, carte informatique affichant des informations diverses de façon dynamique.

VM : Virtual Machine

VPN : Virtual Private Network. Réseau privé virtuel, permet de se connecter sur un réseau informatique depuis l'extérieur de façon sécurisée.