Contents

I. Généralités du projet 6

1. Données du projet 6

2. Méthode 7

3. Présentation du site 8

4. Hypothèses d'occupation 10

II. Etude des besoins en énergie 10

1. Electricité 10

2. Chaleur 15

a. Chauffage 15

b. Eau chaude sanitaire (ECS) 16

III. Etude du potentiel en énergies renouvelables 18

1. Energie électrique 19

a. Solaire photovoltaïque 19

b. Eolien 19

c. Pico-Hydraulique 20

d. Couplage chaleur-Force 20

2. Energie thermique 21

a. Bois énergie 21

b. Pompe à chaleur Air/Eau 22

c. Pompe à chaleur Eau/Eau 22

d. Solaire thermique 24

e. Récupération de chaleur 25

3. Stockage d'énergie électrique 25

a. Batterie électrochimiques ou à circulation 25

b. Power to gaz – Production d'Hydrogène 26

c. Système de transfert d'énergie par pompage (STEP) 27

d. Système inertiel de stockage d'énergie 29

e. Stockage d'énergie par air comprimé (CAES) 29

f. Transport 30

4. Synthèse et choix 31

IV. Etude du scénario d'approvisionnement en énergie 33

1. Production de chaleur 33

a. Chaudière bois 33

b. Installation solaire thermique 34
c. Récupération de chaleur 35
2. Production d'électricité 37
a. Solaire photovoltaïque 37
b. Eoliennes à axe verticale 38
3. Stockage d'électricité 39
a. Dimensionnement des capacités de stockage 39
b. Utilisation du surplus d'électricité 43
c. Encombrement 45
d. Schémas de principe 47
V. Valorisation des déchets 48
1. Création de biogaz : la méthanisation 48
2. Traitement des eaux grises : la phytoépuration 50
3. Récupération des eaux de pluie 52
VII. Synthèse 53
1. Bilan énergétique et financier 53
2. Variante : raccordement réseau 54
a. Présentation de la variante 54
b. Analyse financière 55
VIII. Conclusion 57
IX. Bibliographie 58
X. Annexe 61
1. Résumé du rapport sur l'ensoleillement à Arbaz 62
2. Etude du potentiel éolien 63
3. Caractéristiques chaudière bois Froling T4 64
4. Extrait du rapport de simulation solaire thermique Polysun 65
5. Rapport simulation solaire photovoltaïque PVSyst 67
6. Tesla Powerpack 68
7. Power to gaz - Areva GreenergyBox 69
8. Power to gas – systèmes Swisshydrogen 70

Figure I-2 Situation géographique 8
Figure I-3 Situation géographique rapprochée 8
Figure I-4 Esquisse du projet 10
Figure III-1 Duree d'ensoleillement relative en suisse [3] 19
Figure III-2 Distribution des vitesse de vent (50m au-dessus du sol) [4] 19
Figure III-3 Principe d'une pompe à chaleur 22
Figure III-4 Technologies de géothermie [11] 23
Figure III-5 Zone de qualité d'eau de la nappe phréatique 23
Figure III-6 Admissibilite des forages geothermiques 24
Figure III-7 Comparatif des différents types de batteries chimiques [14] 25
Figure III-8 Principe de fonctionnement d'une batterie à circulation 25
Figure III-9 Hydrogene: Des applications multiples 27
Figure III-10 Principe de fonctionnement d'une centrale de pompage turbinage [16] 28
Figure III-11 Vue en coupe d'un volant d'inertie [17] 29
Figure III-12 Principe de fonctionnement du CAES adiabatique [18] 30
Figure IV-1 Schema de l'installation solaire thermique (polysun) 34
Figure IV-2 Implantation de la chaufferie et des modules solaires thermiques 35
Figure IV-3 Principe de la récupération de chaleur sur les eaux usées 36
Figure IV-4 Encombrement de l'installation PV 38
Figure IV-5 Schéma explicatif de l'utilisation de l'energie 40
Figure IV-6 Synthese du scénario de stockage d'électricite [MWh] 42
Figure IV-7 Encombrement des systèmes de stockage d'electricite 46
Figure IV-8 Schéma de principe électrique simplifié 47
Figure V-1 Traitement des eaux grises 51
Figure V-2 Encombrement du traitement en phytoépuration des eaux grises 52
Figure VII-1 Shema des flux energetiques annuels 53
Figure VII-2 Synthese pour le scénario "raccordement réseau" 54

Tableau I-1 Récapitulatif des surfaces par typologies 9
Tableau II-1 Demande en puissance selon cahier technique 2024 [1] 11
Tableau II-2 Hypothèses d'utilisation des locaux 13
Tableau II-3 Demande en puissance retenue pour l'étude 15
Tableau II-4 Puissance de chauffage selon cahier technique 2024 **[1]** 16
Tableau II-5 Besoins en eau chaude selon cahier technique 2024 **[1]** 17
Tableau III-1 Technologies de couplage chaleur/force 21
Tableau IV-1 Rendements des différents systèmes de stockage 40
Tableau IV-2 Economie due à la production d'ECS par le solaire photovoltaique en été 44
Tableau IV-3 Nombre de trajets réalisables entre Sion et Arbaz avec l'énergie électrique en surplus 45
Tableau V-1 Production de biogaz annuelle estimée [27] 49
Tableau V-2 Volume du digesteur en fonction de la température 49
Tableau V-3 Aide au calcul des équivalents habitants 51
Tableau VII-1 Coût annuel de l'énergie 53
Tableau VII-2 Estimation de l'investissement scénario "autarcie" 55
Tableau VII-3 Estimation de l'investissement du scénario "raccordement réseau" 55

Graphique II-1 Bureaux: Demande en puissance journalière 12
Graphique II-2 Bureaux: demande en puissance des différents postes (Hiver) 12
Graphique II-3 Profil hebdomadaire de demande en puissance du centre 13
Graphique II-4 Demande en puissance de pointe (hiver, 20h) 14
Graphique IV-1 Production solaire photovoltaique PVSyst (66.5 kWc) 37
Graphique IV-2 Valeurs horaires moyennes de consommation et production solaire 39
Graphique IV-3 Energie mensuelle manquante sans stockage 39
Graphique IV-4 Système prioritaire de stockage : Batterie lithium-ion 400kWh 41
Graphique IV-5 Système secondaire : Electrolyse et pile à combustible 1600 kWh 41
Graphique IV-6 Consommation en electricite 42
Graphique IV-7 Production d'electricité 42
Graphique IV-8 Utilisation de l'énergie inutilisée pour la production d'ECS en été 43
Graphique IV-9 Surplus d'énergie électrique restant après prod. ECS en été 44
Graphique VII-1 Consommation d'énergie pour le scénario "raccordement réseau" 54
Graphique VII-2 Comparaison des coûts des deux variantes 56

I. Généralités du projet

1. Données du projet

Le centre de développement durable d'Ayent (CDDA) est un projet de construction d'un complexe de bâtiments multi usages dont la voie directrice est de s'inscrire parfaitement dans une démarche de développement durable. Le projet est mandaté par Mme Victoria Leaney, ingénieure de formation et passionnée par les techniques respectueuses de l'environnement et le développement durable. L'objectif est de former et de sensibiliser la population aux enjeux de cette démarche, et de montrer que sa mise en place est belle et bien réalisable. Dans cette optique, le projet devra répondre, de par sa conception et son utilisation à des exigences strictes en termes d'impact environnemental et de consommation d'énergie.

Ainsi, l'objectif ambitieux du maître d'ouvrage, qui vise le zéro impact sur l'environnement, consiste à n'émettre aucun gaz à effet de serre lors de l'utilisation du bâtiment, et de ne fournir aucun déchet. De plus, La volonté de ne pas être raccordé au réseau électrique constitue un élément important pour le choix de la stratégie énergétique à mettre en place.

Ce projet de construction doit permettre d'incorporer des systèmes innovants en termes de concepts énergétiques, d'utilisation des ressources et de valorisation des déchets

Dans l'optique d'un complexe alimenté à 100% en énergies renouvelables, la réduction des besoins énergétiques est inévitable. La conception architecturale devra répondre au label Minergie-P au minimum. Des matériaux utilisés doivent être naturels issus de filières locales ou de récupération, et la conception architecturale doit permettre de garder un confort raisonnable pour les occupants.

Le centre sera composé d'un musée, une centre d'information avec bibliothèque, un magasin et un restaurant zéro déchets, un centre de conditionnement des aliments produits sur place, un centre de recyclage, des bureaux, des salles de classe, une salle de conférence, des chambres pour accueillir une cinquantaine de personnes et des ateliers de démonstrations pouvant servir de centre de test et de travaux pratiques aux écoles de la région.

Les espaces extérieurs comprendront un espace didactique avec des serres et jardins de production pour l'alimentation, l'agrément et le médical, un théâtre pouvant accueillir 150 personnes, mis à disposition au public et une partie muséographique extérieure.

La HES-SO Valais Wallis va apporter ses compétences techniques dans ce projet dans le but de proposer des solutions, ou des stratégies, en terme d'approvisionnement en énergies renouvelables et d'utilisation rationnelle de cette énergie, tout en incluant l'aspect éducatif et de formation.

La présente étude consiste à évaluer les besoins énergétiques du site, puis déterminer un panel d'énergies disponibles localement, évaluer leur potentiel, leur faisabilité et leur intérêt dans le cadre du projet afin de proposer un scénario cohérent qui correspond au maximum aux attentes du maître d'ouvrage.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

2. Méthode

Le travail d'étude d'approvisionnement en énergies renouvelables peut être divisé en plusieurs grandes parties :

- Etude des besoins en énergie

La première phase consiste à évaluer les besoins en énergie du site, à la fois thermique et électrique.

- Diagnostic du potentiel en énergies renouvelables

Dans cette partie, le potentiel de production de chacune des énergies thermiques et électriques présentes sur le site seront étudiées, ainsi que des solutions pour le stockage de l'énergie, puis ces technologies vont être comparées entre elles.

- Choix d'un scénario énergétique

Ici, l'objectif est de déterminer quelles sont les solutions d'approvisionnement les plus adaptées, afin de définir le scénario, ou le « mix » énergétique le plus cohérent avec la vision globale du projet, économiquement et techniquement réalisable.

- Etude du scénario énergétique

Le scénario choisi au préalable est ici développé au maximum d'un point de vue technique, de son implantation sur le site, au niveau du dimensionnement des appareils et autres calculs de faisabilité. Les coûts annuels de l'énergie seront alors déterminés

- Etude comparative

Une variante sera étudiée afin de comparer les coûts de l'énergie et de déterminer le réel intérêt d'être totalement coupé du réseau électrique.

3. Présentation du site

Le site du projet étudié dans cette étude se trouve à Arbaz, commune valaisanne située sur la rive nord du Rhône, à plus de 1100 mètres d'altitude entre Sion et Anzère :

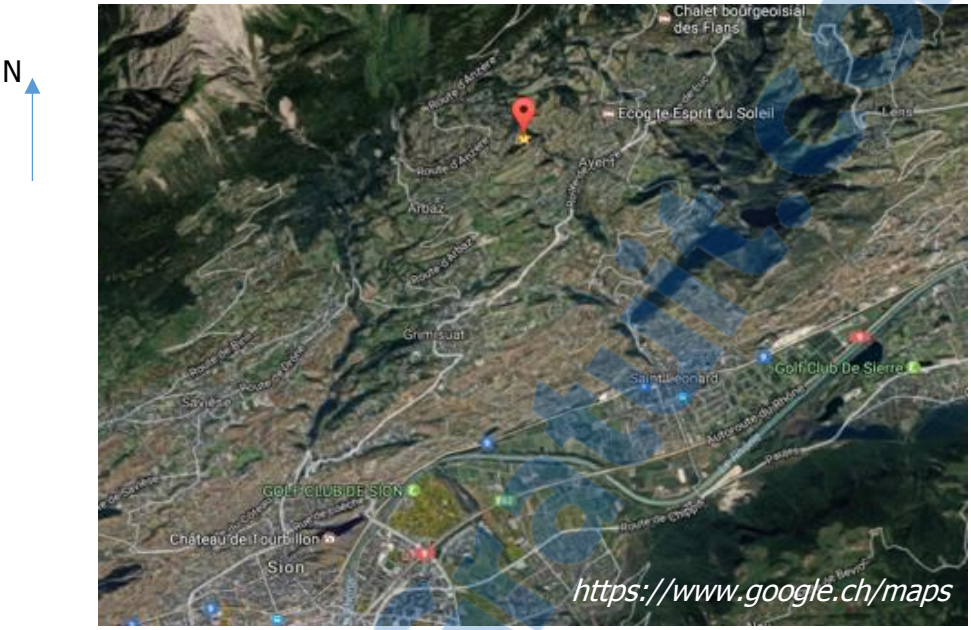


Figure I-1 Situation géographique

Plus précisément, le projet va grandir en lieu et place de l'ancien terrain de foot d'Arbaz:

Figure I-2 Situation géographique rapprochée

La zone comprend le terrain de foot et le parking pour une surface au sol est de plus de 12000 m^2.

L'étang du Botyre, d'un volume de plus de 10'000 m^3 se situe à proximité, ainsi qu'un mur d'escalade se trouvant sur la paroi sud de la colline se trouvant au sud du terrain de foot. Un cours d'eau d'irrigation, le torrent du Botyre coule également au nord puis à l'est du terrain de foot.

Les anciens vestiaires sont toujours existants et pourront être intégrés au projet.

Les surfaces de bâtiments prévues à l'heure actuelle sont présentées par typologies dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-1 Récapitulatif des surfaces par typologies

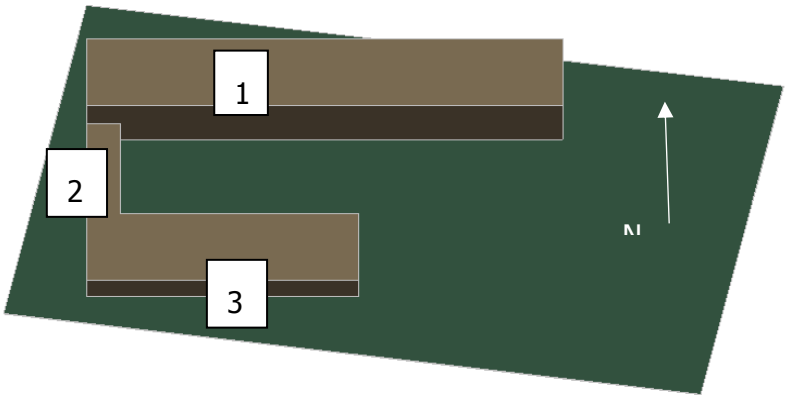
Typologies (Appelation SIA)	Surface
	m^2
Bureau indiv/collectif	65
Salle de classe	330
Salle polyvalente	220
Halle d'exposition	660
Chambre d'hotel	440
Surface de dégagement	234
Cuisine de restaurant	52
Restaurant	145
WC, SDB, Douche	55
Vestiaires, douches	50
Locaux secondaires	170
Entrepot	206
Chambre froide	10
Bibliothèque	30
Reception, zone d'acceuil	108
Magasin alimentation	70
Magasin meubles, bricolage, jardin	35
	2880

Le centre sera disposé en 3 bâtiments :

- Batiment principal : 2000 m^2 sur 2 niveaux orienté plein sud, comprenant le restaurant, le magasin, le musée, la bibliothèque, les salles de classes et de conférence, etc…
- Bâtiment atelier : 100 m^2 sur un niveau
- Bâtiment logement : 600 m^2 sur un niveau, comprenant les éco-cabines d'hébergement et l'acceuil du site.

Les serres de production seront placées devant le bâtiment principal, côté sud.

Les bâtiment seront implantée sur la zone plate du terrain de foot, comme le montre l'esquisse ci-dessous :



1- Batiment principal
2- Atelier
3- Logement

Figure I-3 Esquisse du projet

4. Hypothèses d'occupation

Des hypothèses ont été réalisées en accord avec le maître d'ouvrage concernant le taux d'occupation annuel des éco-cabines et le nombre de repas servis par le restaurant :

$$Nb\ hébergements = 50\ places\ disponibles * 365 * 35\%\ occ. = 6388\ Hebergements/an$$

Le nombre d'hébergements considéré dans l'étude est de 6350 nuitées/an.

Le nombre de repas servis annuellement est fixé à 35000 repas/an.

II. Etude des besoins en énergie

1. Electricité

Les besoins en énergie électrique du site ont été estimés selon les recommandations du cahier technique 2024 (*Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment*), afin de répondre à la valeur « cible », correspondant au label Minergie-P visé par le maître d'ouvrage.

Le document donne des valeurs de puissances installées pour les différents postes que sont l'éclairage, les appareils et la ventilation selon différentes typologies de bâtiments.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Le tableau suivant donne les valeurs de demande en puissance de chacun de ces postes pour toutes les typologies de locaux présents sur le site :

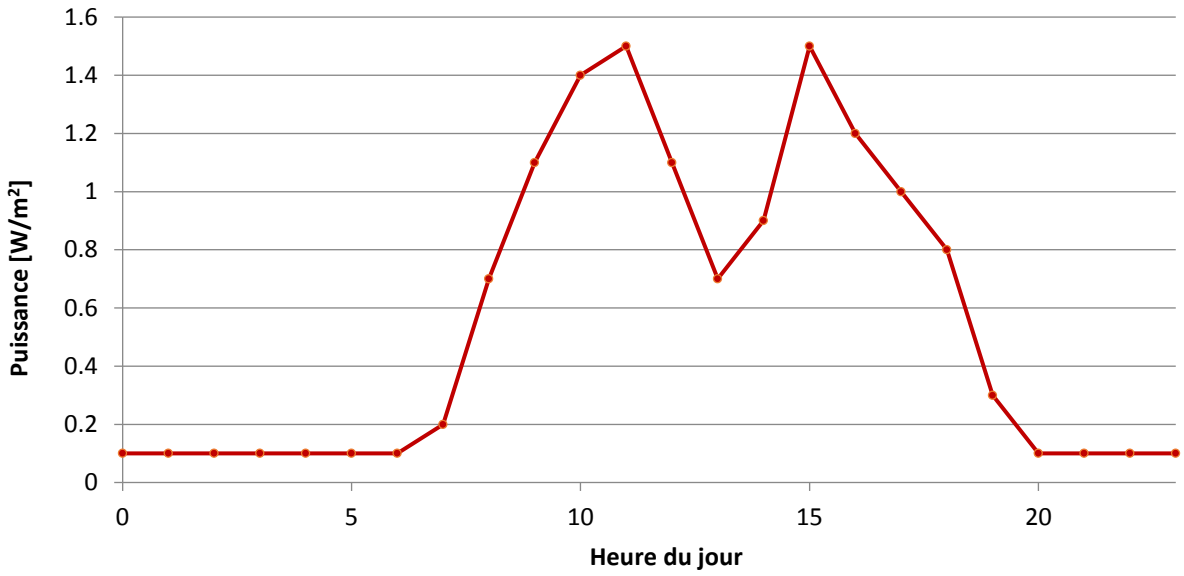
Tableau II-1 Demande en puissance selon cahier technique 2024 [1]

Typologie (Appellation SIA)	Surface	P appareils	P éclairage	P ventilation
	m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Bureau indiv/collectif	65	3	11.6	0.9
Salle de classe	330	2	10.3	1.9
Salle polyvalente	220	2	7.5	4.1
Halle d'exposition	660	3	7.5	4.1
Chambre d'hotel	440	4	1.7	0.8
Surface de dégagement	234	0	4.6	0
Cuisine de restaurant	52	150	11.6	6.8
Restaurant	145	1	4.6	1.6
WC, SDB, Douche	55	0	7.1	2.7
Vestiaires, douches	50	0	6.7	3.3
Locaux secondaires	170	0	3.9	0.1
Entrepot	206	0	3.2	0.3
Chambre froide	10	80	3.7	0
Bibliothèque	30	1	4.6	1.6
Reception, zone d'acceuil	108	3	7.2	2.4
Magasin alimentation	70	80	12.5	1.3
Magasin	35	1	12.5	0.7

Le cahier technique 2024 donne également des recommandations quant aux estimations quotidiennes de la présence des occupants et de l'utilisation des appareils. Pour l'éclairage et la ventilation, les demandes de puissance horaires ont été estimées en lien avec l'occupation des locaux.

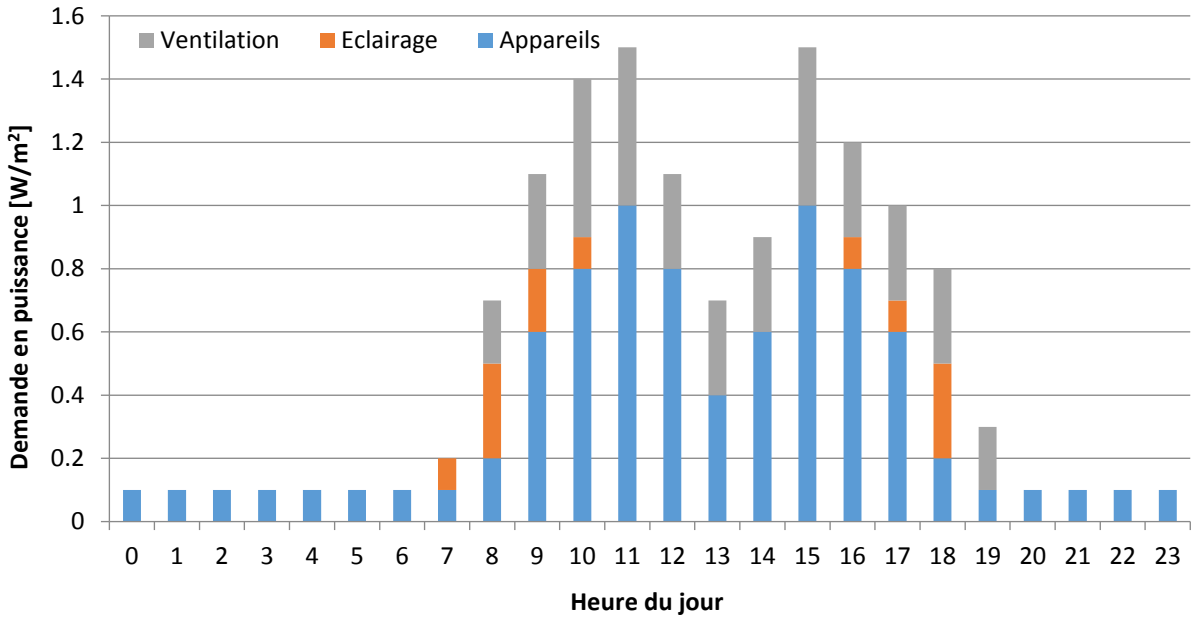
Un profil de consommation journalier a ainsi pu être créé pour chaque type de local.

Par exemple, le graphique suivant montre le profil de charge journalier pour les bureaux, un jour d'utilisation en hiver:



Graphique II-1 Bureaux: Demande en puissance journalière

Le graphique suivant montre quel poste de consommation est le plus important au long de la journée :



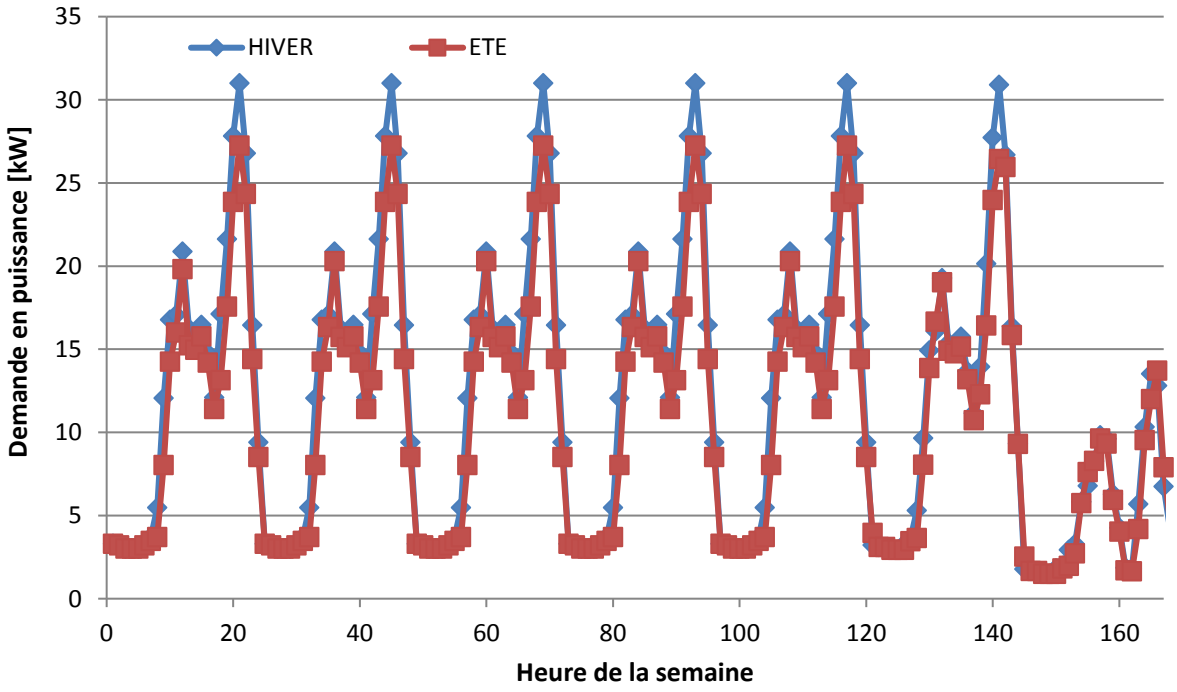
Graphique II-2 Bureaux: demande en puissance des différents postes (Hiver)

En été, la conception du bâtiment doit permettre à l'éclairage naturel de répondre aux besoins de l'éclairage de certains types de locaux comme les bureaux, les salles de classe ou encore la bibliothèque. Des hypothèses ont été réalisées quant aux jours d'utilisation des locaux, afin de créer un profil de charge hebdomadaire. Le tableau suivant récapitule ces hypothèses d'utilisation des locaux :

Tableau II-2 Hypothèses d'utilisation des locaux

	Eclairage en été (X=oui)	Jours sans occupation
Bureau indiv/collectif	-	Sa - Di
Salle de classe	-	Sa - Di
Salle polyvalente	-	Di
Halle d'exposition	X	Di
Chambre d'hôtel	X	-
Surface de dégagement	X	-
Cuisine de restaurant	X	-
Restaurant	X	-
WC, SDB, Douche	X	-
Vestiaires, douches	X	-
Locaux secondaires	X	Sa - Di
Entrepôt	X	Di
Chambre froide	X	-
Bibliothèque	-	Di
Réception, zone d'accueil	-	-
Magasin		Di
Magasin alimentation	-	Di

Des profils hebdomadaires été et hiver globaux, pour la totalité des locaux ont été créés, comme le montre le graphique ci-dessous :



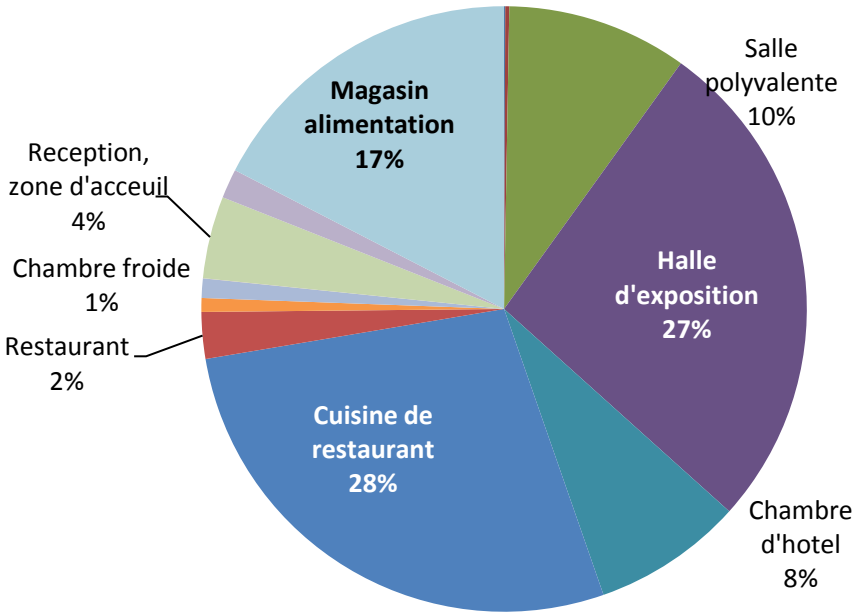
Graphique II-3 Profil hebdomadaire de demande en puissance du centre

La demande en puissance maximale est de **31 [kW]**, il est atteint à 20h les jours de la semaine en hiver. On remarque que le dimanche les besoins en électricité chutent, il s'agit du jour ou les magasins sont fermés, ainsi que la salle polyvalente.

A partir de ces données, et en admettant que les locaux peuvent être utilisés toutes les semaines de l'année, l'énergie annuelle consommée par le bâtiment s'élève à 102,2 [MWh/an], soit une moyenne de **35,5 [kWh/m^2]**.

Cette valeur paraît élevée par rapport à l'étude réalisée au préalable qui prévoyait 17 [kWh/m^2]. Le cahier technique 2024 est en effet prévu pour les bâtiments « standards » raccordés au réseau. Dans le cas d'un tel projet innovant, et avec la volonté d'être coupé du réseau électrique, Les besoins en énergie doivent être réduits au maximum, et les valeurs données par le cahier technique doivent êter adaptées.

Les besoins en électricité, notamment de la cuisine, seront plus faibles que la valeur donnée par le cahier technique 2024, avec l'utilisation des fours solaires et à bois. L'apport de lumière naturelle est également sous-évalué. Des ajustements de ces valeurs estimatives concernant l'éclairage de certaines zones et les appareils de la cuisine ont été réalisées en prenant en compte ces paramètres. [2]



Graphique II-4 Demande en puissance de pointe (hiver, 20h)

Lors de la pointe de demande en puissance, plus de la moitié de la demande provient de la cuisine du restaurant et du halle d'exposition.

Les valeurs modifiées d'appel de puissance sont affichées dans le tableau ci-dessous en rouge :

Tableau II-3 Demande en puissance retenue pour l'étude

Typologie (Appellation SIA)	Surface	P appareils	P éclairage	P ventilation
	m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Bureau indiv/collectif	65	3	11.6	0.9
Salle de classe	330	2	7	1.9
Salle polyvalente	220	2	3.5	2.5
Halle d'exposition	660	3	3.5	2.5
Chambre d'hotel	440	4	1.7	0.8
Surface de dégagement	234	0	4.6	0
Cuisine de restaurant	52	30	11.6	6.8
Restaurant	145	1	4.6	1.6
WC, SDB, Douche	55	0	7.1	2.7
Vestiaires, douches	50	0	6.7	3.3
Locaux secondaires	170	0	3.9	0.1
Entrepot	206	0	3.2	0.3
Chambre froide	10	40	3.7	0
Bibliothèque	30	1	4.6	1.6
Reception, zone d'acceuil	108	3	5	2.4
Magasin alimentation	70	40	12.5	1.3
Magasin	35	1	12.5	0.7

L'allure de la courbe de charge reste la même, mais la conséquence est de diminuer la pointe de puissance à **18 kW**, et la consommation annuelle à 57.5 MWh, soit **20 [kWh/m²]**

2. Chaleur

Les besoins en chaleur du site comprennent les besoins pour le chauffage et les besoins pour l'eau chaude sanitaire.

a. Chauffage

Pour cette étude, la consommation de chaleur pour le chauffage des bâtiments a été estimée à 30 kWh/m², valeur estimée lors de la pré-étude. La consommation annuelle estimée s'élève donc à 86.4 [MWh/an].

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Le tableau suivant montre les valeurs cibles données par le cahier technique 2024 concernant les puissance thermiques dédiées au chauffage et les consommations annuelles :

Tableau II-4 Puissance de chauffage selon cahier technique 2024 **[1]**

	Surface	Puissance chauffage		Conso Limite	
Appelation SIA	m^2	W/m^2	W	kWh/m2	kWh
Bureau indiv/collectif	65	20.6	1339	17.2	1118
Salle de classe	330	30.8	10164	15.4	5082
Salle polyvalente	220	37	8140	19.2	4224
Halle d'exposition	660	37	24420	18.4	12144
Chambre d'hotel	440	16.1	7084	9.6	4224
Surface de dégagement	234	8.1	1895.4	4.4	1029.6
Cuisine de restaurant	52	56	2912	3.1	161.2
Restaurant	145	46.6	6757	16.6	2407
WC, SDB, Douche	55	41.7	2293.5	22	1210
Vestiaires, douches	50	49.6	2480	24.7	1235
Locaux secondaires	170	9.1	1547	8.8	1496
Entrepot	206	13.6	2801.6	11.6	2389.6
Chambre froide	10	0	0	0	0
Bibliothèque	30	23.4	702	9.8	294
Reception, zone d'acceuil	108	24.8	2678.4	0.3	32.4
Magasin alimentation	70	15.4	1078	0	0
Magasin meubles, bricolage, jardin	35	11.7	409.5	3.2	112
	2880		76701.4		37159

La valeur de 30 kWh/m2 est donc plus de 2 fois supérieure à la consommation estimée avec le cahier technique 2024 donne une consommation moyenne de 13 [kWh/m^2]

Comme pour les puissances électriques, les valeurs recommandées par le cahier technique ont été vues à la hausse. La puissance obtenue est de 26.6 [$W/m^{2]}$. Un ratio de 75% a été appliqué à ces puissances afin d'obtenir une valeur de 20 [W/m^2], qui correspond mieux aux valeurs attendues par un bâtiment au label Minergie. La puissance totale dédiée au chauffage sera donc de 57.6 [kW]

b. Eau chaude sanitaire (ECS)

Dans les bâtiments performants, la puissance thermique est plus souvent dimensionnée par les besoins en eau chaude sanitaire, tant la bonne inertie de l'enveloppe doit pouvoir permettre une coupure temporaire du chauffage sans compromettre le confort des occupants. Le cahier technique 2024 donne des valeurs limites de consommation d'eau chaude à 60°C par personne et par jour.

Ces valeurs sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau II-5 Besoins en eau chaude selon cahier technique 2024 **[1]**

	Surface	ECS	Occupation	ECS
	m^2	l(60°C)/j/pers	m^2/pers	l(60°C)/jour
Bureau indiv/collectif	65	3	14	13.9
Salle de classe	330	2	3	220.0
Salle polyvalente	220	2	3	146.7
Halle d'exposition	660	2	3	440.0
Chambre d'hôtel	440	40	50 lits*	2000
Surface de dégagement	234			
Cuisine de restaurant	52		5	
Restaurant	145	15	2	1087.5
WC, SDB, Douche	55			
Vestiaires, douches	50			
Locaux secondaires	170			
Entrepôt	206	3	40	15.5
Chambre froide	10			
Bibliothèque	30		5	0.0
Réception, zone d'accueil	64		5	0.0
Magasin alimentation	109	2	8	27.3
TOTAL	2840			3950.8

**La valeur de 50 lits n'est pas tirée du cahier technique mais du fait de l'occupation maximale du centre.*

les 3950 [l/jour] de besoins à pleine occupation demandent une énergie de 83.6 [MWh/an], d'après la relation suivante :

$$Ej = V_{jour} * \rho_{eau} * c_{eau} * \Delta T$$

Ej : Energie journalière [kJ/jour]

V_{jour} : consommation journalière [m^3]

ρ_{eau} : Masse volumique de l'eau = 1000 [kg/m^3]

c_{eau} : pouvoir calorifique de l'eau = 4.185 [kJ/(kg.K)]

ΔT : différence de température t°production - t°réseau = 60-10= 50°C

Une nouvelle fois, les données du cahier technique 2024 sont prévues pour des bâtiments standards. L'énergie nécéssaire pour l'eau chaude sanitaire du site sera réduite par l'utilisation de douches performantes et de récupérateurs de chaleur pour préchauffer l'eau. Ainsi, le choix a été fait d'appliquer un facteur de 90% sur la consommation d'énergie due à la production d'eau chaude sanitaire.

III. Etude du potentiel en énergies renouvelables

Le choix des sources d'énergie à exploiter sur le site est d'une importance cruciale pour répondre à l'objectif ambitieux en termes d'émissions de gaz à effet de serre et d'impact environnemental. Tous les systèmes étudiés répondent à des exigences environnementales élevées notamment en termes d'émissions de CO_2.

Dans un premier temps, les sources d'énergies renouvelables thermiques et électriques disponible sur le site seront étudiées, afin de déceler les sources d'énergies les plus cohérentes avec l'ensemble du projet (Bannissement des énergies fossiles). Les sources d'énergie étudiées sont les suivantes :

- Solaire thermique
- Bois énergie
- Pompe à chaleur géothermique
- Systèmes de récupération de chaleur
- Solaire photovoltaïque
- Eolien
- Pico-Hydraulique
- Couplage chaleur force

D'autre part, dans l'optique de ne pas être raccordé au réseau électrique, plusieurs solutions d'utilisation rationnelle de l'énergie, ou de stockage d'énergie seront également étudiées :

- Pico pompage-turbinage
- Power to Gaz / Gaz to Power (hydrogène)
- Volant d'inertie
- Pilotage automatique d'appareils
- Stockage électrochimique

Une liste exhaustive des avantages et inconvénients de chacune des solutions permettra de sélectionner un scénario à étudier dans le détail.

Rapport-Gratuit.com

1. Energie électrique

a. Solaire photovoltaïque

La commune d'Arbaz présente un taux d'ensoleillement annuel parmi les plus élevés de Suisse, comme on peut le voir sur l'image ci-dessous :

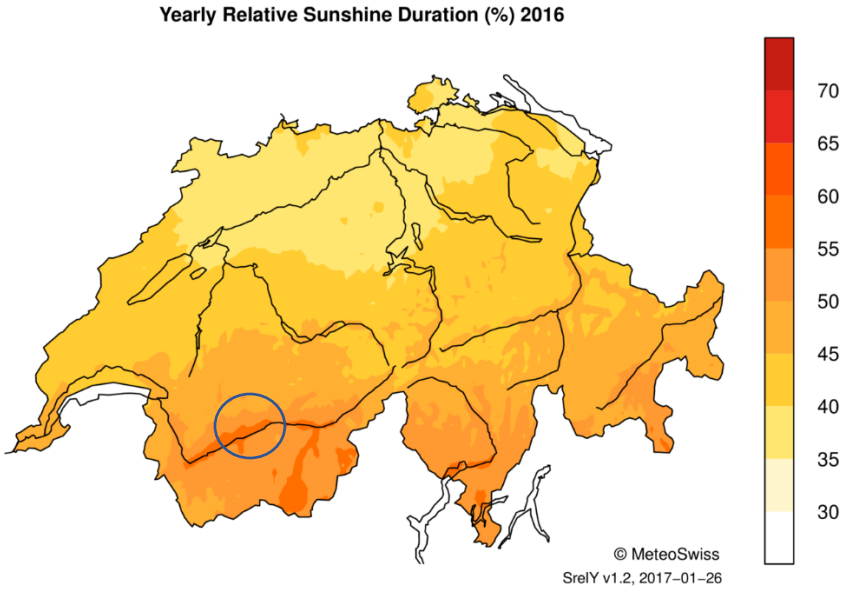


Figure III-1 Duree d'ensoleillement relative en suisse [3]

Le nombre d'heures d'ensoleillement à Arbaz est de 2182 h/an. Le rapport des données d'ensolleillement à Arbaz est disponible en annexe 1.

L'exposition du site est favorable à la production d'énergie solaire (Sud). Equiper la toiture d'une installation de panneaux solaires photovoltaïque est donc une solution très pertinente.

L'investissement lié à une installation photovoltaïque est relativement faible compte tenu de l'énergie qu'elle fournie annuellement.

b. Eolien

Le potentiel en énergie éolienne du site est relativement faible, comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous :

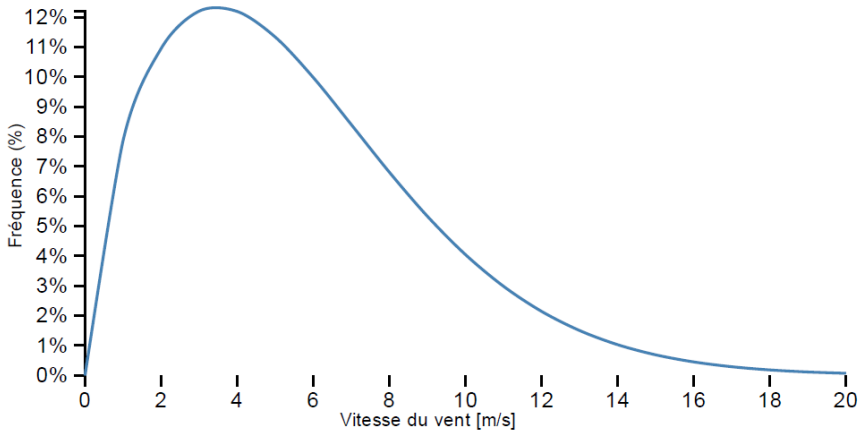


Figure III-2 Distribution des vitesse de vent (50m au-dessus du sol) [4]

Le rapport complet est disponible en annexe 2. La vitesse du vent à 50 mètres d'altitude est plus de la moitié du temps située entre 2 et 6 [m/s]. La vitesse moyenne à 50 [m] est de 5,6 [m/s]. Il est possible d'avoir une estimation de la vitesse moyenne du vent à différentes hauteurs grâce à la relation suivante :

$$v = v_0 * \frac{h}{h_0}^{\propto}$$

v : vitesse moyenne de vent recherchée
h : hauteur de la vitesse de vent recherchée
v_0 : vitesse moyenne de vent connue = 5.6 m/s
h_0 : hauteur de la vitesse de vent connue = 50 m
Alpha : coefficient dù à la nature du sol (= 0.25) [5]

Ainsi, la vitesse de vent calculée à 3 [m] du sol est de 2,8 [m/s], et de 3,7 [m/s] à 10 [m]. Pour profiter de l'énergie éolienne, il sera impératif d'utiliser des systèmes qui fonctionnent avec une faible vitesse de vent. Les systèmes les plus connus sont les éoliennes à axe verticales de type « savonius ». Elles ont également l'avantage de ne pas être influencé par la direction du vent. De plus, leur petite taille peut permettre de les installer n'importe ou sans pour autant déranger le voisinage, comme c'est souvent le cas avec les éoliennes traditionnelles.

c. Pico-Hydraulique

Le potentiel en énergie hydraulique à proximité du site est faible voire inexistant. Le seul cours d'eau disponible est le torrent de Botyre, un cours d'eau d'irrigation [6]. Les contraintes administratives pour utiliser ces cours d'eau sont lourdes et le potentiel de ce cours d'eau paraît très faible compte tenu de l'investissement que générerait une installation hydroélectrique.

Toutefois, côté innovation, les idées sont nombreuses. L'idée de créer un système hydroélectrique de micro pompage-turbinage en circuit fermé sera étudiée. Un tel système permettrai de produire de l'électricité lors des pics de consommation en stockant de l'énergie dans une durée de temps infini.

Une telle installation engendre des contraintes de construction importantes, avec la nécéssité de créer deux bassins de stockage à des niveaux d'altitude différents. La quantité d'énergie stockée dépendra de la différence d'altitude entre les deux réservoirs et de leur capacité de stockage.

d. Couplage chaleur-Force

Dans le cas de la mise en place d'un système de production de chaleur à combustion, l'énergie contenue dans les fumées peut être valorisée par la création d'électricité. L'électricité est produite lorsque la chaudière est en fonctionnement, donc lorsque les besoins sont importants et que la production solaire n'est pas optimale. Cette production d'énergie au bon moment peut permettre de soulager l'usage des batteries et ainsi améliorer leur durée de vie.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Le coût d'investissement d'un tel système est important, et il se rentabilise d'autant plus vite que le système reste longtemps en marche. Plusieurs technologies existent, selon la puissance employée [7]:

Tableau III-1 Technologies de couplage chaleur/force

Technologie	Gamme de puissance	Rendement électrique
Turbine à vapeur	> 500 kWe	12 à 25 %
Cycle ORC	1 kWe – 1,5 MWe	10 à 17 %
Moteur Stirling	1 kWe – 150 kWe	7 à 12 %
Moteur à vapeur	20 kWe à 1 MWe	8 à 15 %

Le rendement thermique sera influencé par la mise en place d'un couplage chaleur force.

Bien que théoriquement réalisable pour les games de puissances de l'ordre de 60 kW thermiques, les technologies existantes sont rares sur le marché, voir inexistantes et il est difficile de trouver un constructeur capable de donner des informations précises sur les rendements thermiques et électriques de ces systèmes.

En cours de developpement, le système Pellematic e-max de la marque OKOFEN intègre un système de production d'électricité à une chaudière. Pour une puissance thermique de 60kW, la puissance électrique fournie par le système est de l'ordre de 4kW [8].

2. Energie thermique

a. Bois énergie

Le bois est considéré comme une source d'énergie renouvelable et durable, le CO_2 consommé par un arbre durant sa vie compense celui émis lors de sa combustion. De plus, le bois est une ressource très présente en Suisse et notamment en Valais. Cependant, l'utilisation du bois comme source d'énergie, bien qu'il soit local, nécessite un approvisionnement en combustible extérieur (fournisseurs de bois). L'autonomie du site en ressources est alors remise en question.

Le combustible bois peut être utilisé sous différentes formes [9]:

- Bois déchiqueté en plaquettes composées de déchets végétaux inutilisables broyés
- Bois granulés (Pellets) : provient principalement des déchets issus des scieries qui subissent un processus industriel visant à les compacter et abaisser leur taux d'humidité. Le rendement est ainsi amélioré.

Les systèmes de chauffage au bois ont un rendement assez bon (autour des 80-90%), et peut être amélioré en le couplant à un récupérateur de l'énergie comprise dans les fumées. Un récupérateur de chaleur traditionnel permet d'améliorer le rendement thermique du système.

La mise en place d'une chaufferie au bois entraîne des contraintes d'espace pour la mise en place d'un silo de stockage du combustible à proximité de la chaudière.

b. Pompe à chaleur Air/Eau

L'utilisation d'une pompe à chaleur est un moyen d'améliorer le rendement global de l'installation. Le principe consiste à comprimer un fluide et récupérer l'énergie qu'il dégage lors du changement de phase. Une pompe à chaleur fonctionne en récupérant l'énergie libérée lors de la condensation, alors qu'une machine frigorifique se sert de l'énergie absorbée lors de l'évaporation du fluide. Le schéma suivant montre le principe d'une pompe à chaleur [10]:

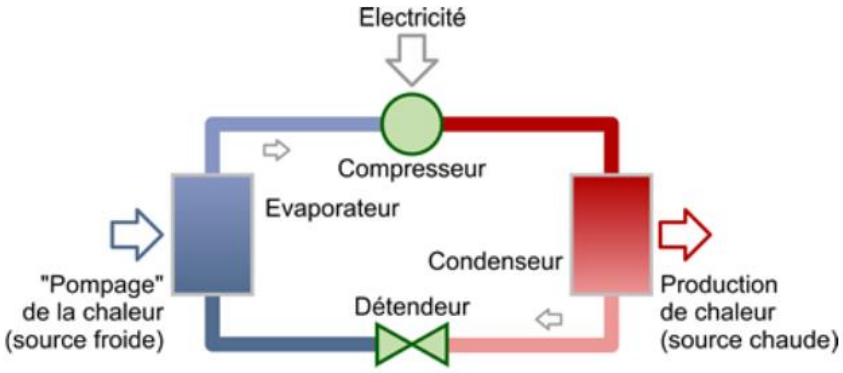


Figure III-3 Principe d'une pompe à chaleur

L'équivalent du rendement d'une chaudière de la pompe à chaleur est appelé coefficient de performance (COP). Les coefficients de performances des pompes à chaleur air-eau atteignent en général la valeur de 3, c'est-à-dire que pour 1kWh électrique consommé, le système produit 3kWh de chaleur :

$$COP = \frac{Consommation_{Chaleur}}{Energie\ absorbée_{électrique}} = 3$$

La performance d'une pompe à chaleur dépend de la température de la source ou elle puise la chaleur, l'air extérieur pour une pompe à chaleur air/eau. Plus la température est élevée, plus le COP sera amélioré. La commune d'Arbaz se situant à 1100 mètres d'altitude, la température extérieure risque d'être faible en hiver, ce qui ne favorise pas le fonctionnement optimal d'une pompe à chaleur Air/Eau. Le COP dépend aussi de la température à laquelle la chaleur doit être produite. Une PAC est plus efficace pour le chauffage à basse température (35-40°C) et le COP est diminué pour la production d'eau chaude sanitaire à 60°C. Le rendement de production restera toutefois supérieur en comparaison à un système à combustion.

L'énergie utilisée par la pompe à chaleur sera la plus importante en période hivernale, période ou la production d'électricité photovoltaique du site sera la moins grande. L'utilisation d'une pompe à chaleur dans un site coupé du réseau électrique nécéssite de vérifier si la production d'électricité en hiver est suffisante, ou s'il est possible d'adapter un système de stockage cohérent avec les besoins en électricité de la pompe à chaleur.

c. Pompe à chaleur Eau/Eau

Les pompes à chaleur eau-eau utilisent un circuit d'eau comme source froide, ce qui les rend plus efficaces. Le circuit d'eau peut être réchauffé par le sol (géothermie) ou par une quelconque source d'énergie telle que de la récupération de chaleur.

La géothermie consiste à puiser la chaleur contenue dans le sol pour la valoriser à l'aide d'une pompe à chaleur et l'utiliser pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire.

Plusieurs technologies sont disponibles, en fonction de la profondeur des forages, comme le montre l'image ci-dessous :

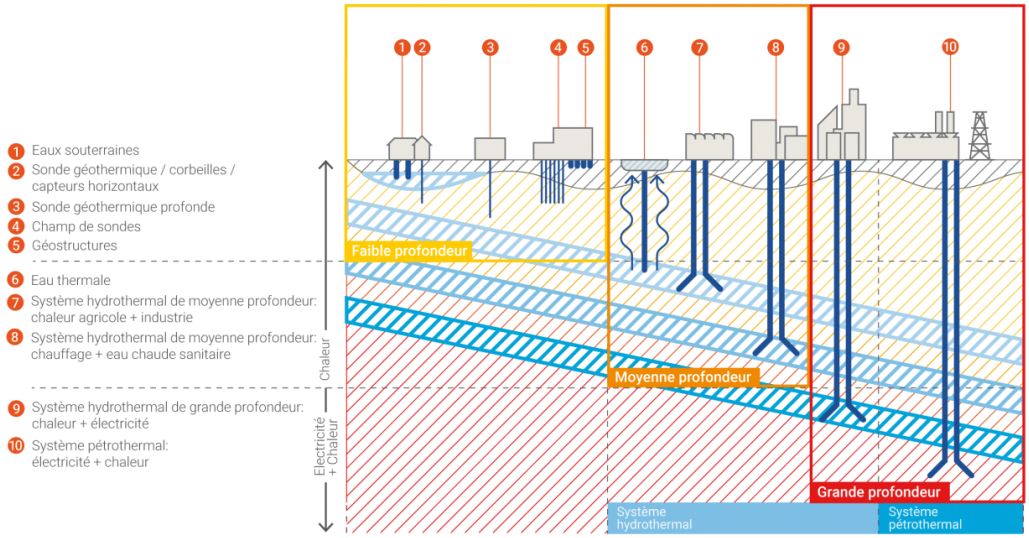


Figure III-4 Technologies de géothermie [11]

Pour des raisons de grandes contraintes au niveau de l'utilisation des sols et de puissances nécessaires, seules deux technologies de géothermie à faible profondeur seront étudiées :

- Utilisation des eaux souterraines

Avec ce système, au minimum 2 forages sont nécessaires, le premier pour capter l'eau de la nappe phréatique en amont du site, le second pour réinjecter cette eau dans la nappe en aval, le débit de la nappe n'est ainsi aucunement influencé par le système. L'eau de nappe est utilisée comme source chaude par une pompe à chaleur. Le débit de nappe nécessaire est à déterminer et dépend de la puissance thermique voulue et de la température de l'eau. Une attention particulière doit être laissée sur l'analyse de la qualité de l'eau. La carte suivante montre dans quelle zone se situe la nappe phréatique du site [12]:

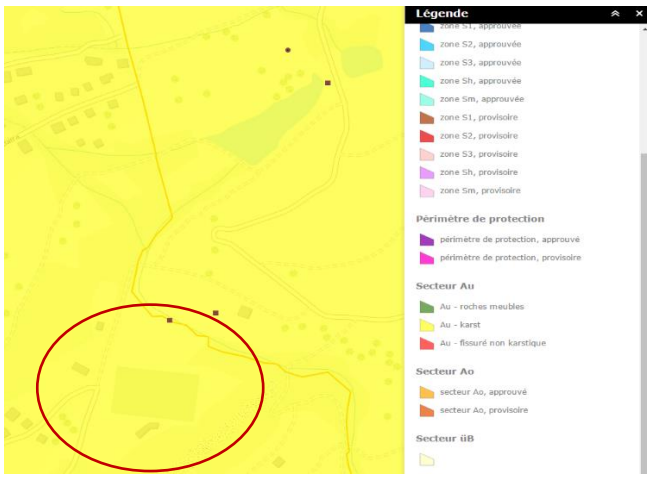


Figure III-5 Zone de qualité d'eau de la nappe phréatique

Le site se situe dans une zone « Au ». Cela signifie que l'eau de nappe peut être exploitée comme une eau potable.

- Champ de sondes géothermiques

Les sondes géothermiques utilisent la chaleur du sol à l'aide d'un réseau d'eau glycolée en circuit fermé. Les forages sont généralement composés de 2 tubes en U chacun. Les sondes doivent être à une distance suffisante les unes des autres de façon à ne pas influencer la température dans le sol. La chaleur soutirable du sol par mètre de profondeur est à déterminer en fonction de la situation géographique et de la nature du sol.

L'image ci-dessous montre l'admissibilité pour la réalisation de forages par les autorités [13]:

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

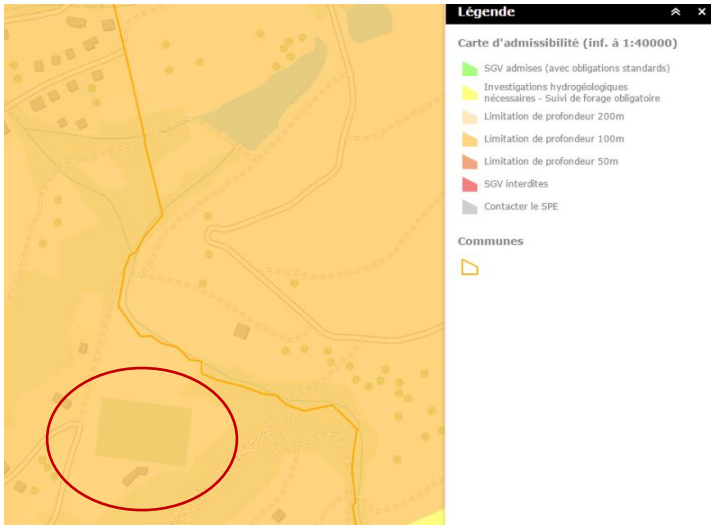


Figure III-6 Admissibilite des forages geothermiques

Le site du terrain de foot se situe dans une zone où les forages sont admissibles jusqu'à une profondeur de 200 mètres.

L'investissement généré par les forages est important, sutout pour un site de la taille du centre. De plus, comme pour la PAC air/eau, l'utilisation de ce système va augmenter la demande d'électricité dans les périodes les plus froides de l'année, correspondants au périodes ou la production d'énergie solaire est la plus faible.

La réversibilité du système est un réel avantage, il peut permettre de raffraichir les locaux en cas de surchauffe estivale.

d. Solaire thermique

L'ensoleillement annuel de la commune d'Arbaz est important et l'orientation du site idéale pour exploiter l'énergie solaire (Voir chapitre Photovoltaique III.1.a). L'installation d'un système solaire thermique est donc pertinent pour apporter une quantités de chaleur non négligeable aux bâtiments, par exemple pour la production d'eau chaude sanitaire ou le préchauffage de l'eau de chauffage.

En plus d'être associé à un volume de stockage important, ce système doit être couplé à un autre moyen de production de chaleur au cas ou l'ensolleillement serait compromis pendant une longue période.

e. Récupération de chaleur

Afin de minimiser au maximum le gaspillage d'énergie, toutes les sources de chaleur représentent un potentiel d'amélioration. La récupération de chaleur des groupes de production de froid des chambres froides et des autres systèmes emettant de la chaleur permet de réaliser de grandes économies sur la préparation de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage des locaux, pour un investissement relativement faible.

3. Stockage d'énergie électrique

a. Batterie électrochimiques ou à circulation

[14] Bien que nécéssitant des procédés de fabrication industriels et parfois polluants, la technologie de batterie traditionnelle est une solution de stockage de l'électricité maitrisée à petite échelle, et de plus en plus à grande échelle. Les rendements de charge et de décharge, la facilité de mise en œuvre, la grande flexibilité de puissance et le faible rapport volume/énergie stockée en font une solution efficace et rentable pour stocker l'énergie électrique, et il sera difficile de s'en passer pour être coupé du réseau électrique.

- Batteries électrochimiques

Il existe plusieurs types de batteries électrochimiques, dont les caractéristiques varient selon le matériau utilisé, comme le montre le tableau ci-dessous :

	Pb	Ni-Cd	Ni-Mh	Ni-Zn	Zebra	LMP	Li-ion	Li-Po	LiFePo4	Li-air
Wh/kg	40	60	90	80	120	110	150	190	110	1000
Durée de vie (cycles)	500	2000	1500	nc	nc	1800	1000	2000	2000	nc

Figure III-7 Comparatif des différents types de batteries chimiques [14]

La technologie de batterie au plomb est la plus connue et la plus maîtrisée. Les batteries au lithium-ion connaissent cependant un developpement important. Bien que plus onéreuses à l'investissement qu'une batterie au plomb, les batteries au lithium-ion ont une capacité massique 3 fois plus importante et leur durée de vie plus de 2 fois supérieure.

- Batteries à circulation

La batterie à circulation est également une technologie de stockage efficace en terme de rendement, elle utilise une membrane et des réservoirs dont le dimensionnement influencera directement la puissance disponible et la capacité de stockage.

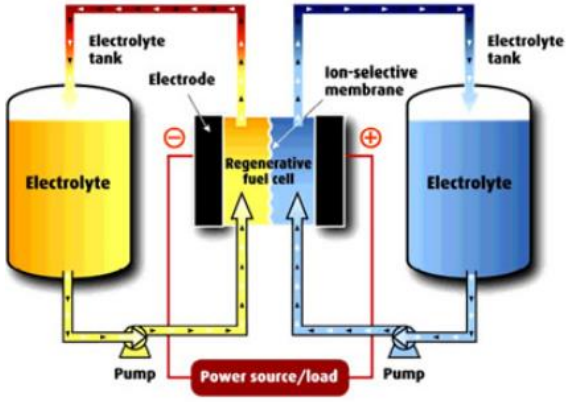


Figure III-8 Principe de fonctionnement d'une batterie à circulation

Dans les deux cas, les rendements des batteries sont de minimum 80% selon les constructeurs (charge/décharge). La capacité de stockage est modulable en ajoutant simplement des modules identiques.

La batterie à circulation a l'avantage d'avoir une durée de vie supérieure et le remplacement lors de la fin de la durée de vie est moins couteux car il suffit de remplacer les électrodes, alors qu'il faut remplacer le système entier avec une batterie lithium-ion. Toutefois, Les batteries à circulation sont plus chères et nécéssitent un plus grand volume. La technologie de batterie au lithium-ion sera sélectionnée pour le reste de l'étude l'étude.

b. Power to gaz – Production d'Hydrogène

[15] Le stockage de l'électricité produite en surplus via la création d'hydrogène est une solution prometteuse de stockage d'énergie. L'hydrogène est produit grâce à l'électrolyse de l'eau, via un électrolyseur, selon la réaction suivante :

$$2H_2O + énergie \rightarrow 2H_2 + O_2$$

Un réservoir de stockage de l'hydrogène et de l'oxygèe est nécéssaire. Les electrolyseurs sont capables de produire le gaz directement sous pression sans avoir à le comprimer, à hauteur d'environ 30 bars. Le volume de stockage devient donc acceptable pour une quantité d'énergie importante.

Une quantité importante de chaleur est dégagée lors du processus, mais celle-ci est en grande partie utilisée par l'électrolyseur lui-même, qui fonctionne mieux à une température élevée. Les rendements électriques des électrolyseurs sont en général supérieurs à 70%. Pour l'étude, un rendement défavorable a été pris en compte, de 60%, correspondant à la relation suivante :

$$\eta_{électrolyse} = \frac{Q_{inH_2} * PCS_{H_2}}{P_{in}} = 60\%$$

Qin_{H2} : Débit d'hydrogène produit par l'électrolyseur [m3/h]
PCS_{H2} : Pouvoir calorifique supérieur (3.54 [kWh/m3])
P_{in} : Puissance électrique à l'entrée de l'électrolyseur [kW]

L'hydrogène produit grâce à l'électrolyse est ensuite reconverti en électricité à l'aide d'une pile à combustible. La pile à combustible à hydrogène réutilise l'oxygène et l'hydrogène stockés pour re-crèer de l'électricité et de l'eau :

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + électricité + chaleur$$

Cette réaction est moins efficace que l'électrolyse. Le rendement électrique se situant aux alentours de 50%. Une nouvelle fois, un rendement péssimisste sera utilisé, de 40%.

$$\eta_{pile\ à\ combustible} = \frac{P_{out}}{Q_{outH_2} * PCS_{H_2}} = 40\%$$

$Qout_{H2}$: Débit d'hydrogène sortant du système [m^3/h]
PCS_{H2} : Pouvoir calorifique supérieur (3.54 [kWh/m^3])
P_{out} : Puissance électrique à la sortie de la pile à combustible [kW]

Le rendement global de la conversion Power to Gaz / Gaz to Power est donc faible.

$$\eta_{global} = \eta_{électrolyse} * \eta_{pile\ à\ combustible} = 24\%$$

La grande flexibilité de la puissance, la durée et la grande capacité de stockage de cette solution en font une solution pertinente pour un projet souhaitant être autonome énergétiquement, malgré un faible rendement et des coûts d'investissement importants.

Ce faible rendement électrique peut être sensiblement amélioré en récupérant la chaleur produite lors des différents processus, notamment lors de l'utilisation de la pile à combustible.

De plus, l'avantage de stocker une grande quantité d'hydrogène est qu'il a des utilisations variées qui peuvent être utiles pour le centre :

- Création de biogaz par la méthanation (nécéssite un apport de chaleur et un apport de CO_2). Ce biogaz peut ensuite être utilisé pour la cuisine ou pour alimenter des lampes à gaz.
- Utilisation dans des moteurs à hydrogène pour le transport

Le schéma suivant montre le principe et les différentes options d'utiliser l'hydrogène produit :

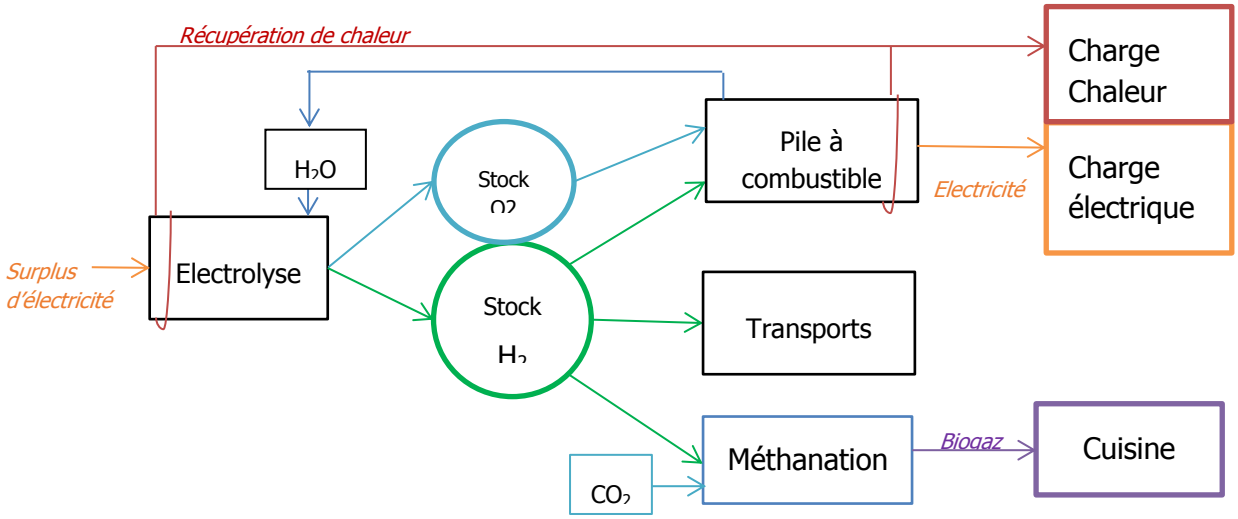


Figure III-9 Hydrogene: Des applications multiples

c. Système de transfert d'énergie par pompage (STEP)

[14] Le pompage turbinage est une solution fiable et maîtrisée de stockage de l'énergie électrique sous forme d'énergie potentielle. Toutefois, comme pour la production d'électricité hydroélectrique, elle nécéssite la création de deux bassins à différentes hauteurs et de grands volumes pour stocker une quantité d'énergie importante.

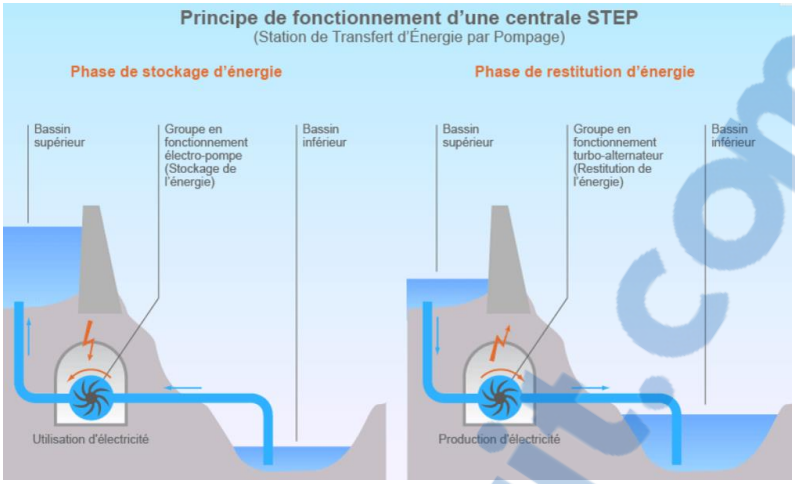


Figure III-10 Principe de fonctionnement d'une centrale de pompage turbinage [16]

A titre d'exemple, le potentiel hydroélectrique a été calculé en emettant l'hypothèse de la création d'un château d'eau à une hauteur de 5m, d'un volume de 100 m^3. En admettant que ce volume puisse être vidé en 2h, le débit serait de 13.9 l/s, d'après la relation suivante :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q : débit d'eau à pleine puissance [m^3/s]

V : Volume total de stockage d'eau [m^3]

t : temps de décharge du réservoir [sec]

La puissance hydraulique est alors calculée :

$$P_{hydro} = \rho_{eau} * Q * g * H_n$$

P_{hydro} : puissance hydraulique [W]

ρ_{eau} : Masse volumique de l'eau = 1000 [kg/m^3]

g : accélération de la gravité = 9.81 [m/s^2]

H_n : Hauteur de chute nette [mCE]

La puissance hydraulique obtenue en prenant une chute nette de 5m est de 681 [W]. Le rendement global de conversion hydraulique/électrique a été estimé à 50%. La puissance électrique du système s'élève à 380 [W].

Ainsi, un château d'eau d'un volume de 100 m^3 installé 5m au dessus de la turbine fournirai une puissance électrique d'environ 380 [W] pendant 2h. L'énergie électrique stockée est donc de l'ordre de 0.68 kWh. La demande en électricité de pointe du site étant d'environ 18 kW en soirée, l'énergie contenue dans l'installation décrite est largement insuffisante pour le centre.

Toutefois, une telle installation peut tout de même être envisagée dans le cadre d'une installation de démonstration ou de test. Le système peut en effet être couplé à des pompes de relevage pour augmenter virtuellement la hauteur de chute et peut servir de banc test pour différents types de turbines à basse chute.

Rapport-Gratuit.com

d. Système inertiel de stockage d'énergie

[15] Le principe du stockage par volant d'inertie est d'utiliser l'électricité pour faire tourner un cylindre généalement en carbone à l'aide d'un moteur électrique. La vitesse de rotation peut atteindre en quelques minutes plusieurs milliers de tours par minute. Cette énergie cinétique de rotation est ensuite utilisée comme génératrice électrique lorsque le besoin se présente, entraînant la baisse de la vitesse de rotation du cylindre.

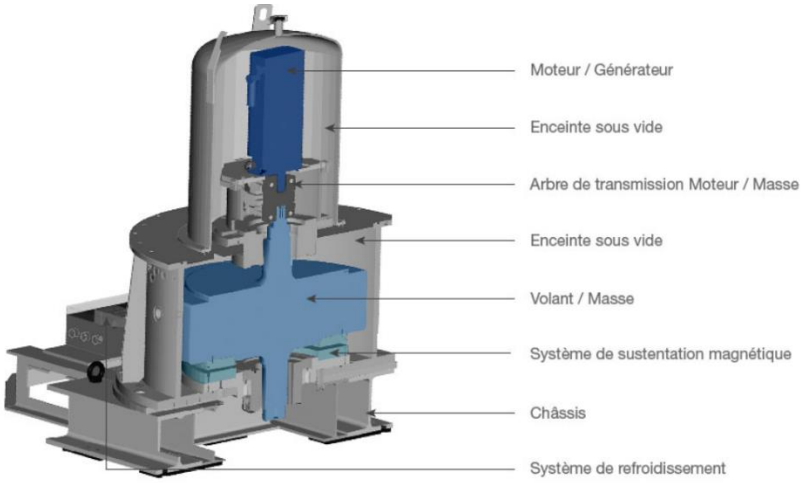


Figure III-11 Vue en coupe d'un volant d'inertie [17]

Ce système a l'avantage de pouvoir réagir très rapidement à une grande variation de puissance. Il a une très grande longévité et des frais d'entretien quasiment inexistants. Cependant, les coûts d'investissement sont élevés, et l'énergie ne peut pas être stockée indéfiniement car il y a toujours des pertes de charge faisant ralentir de cylindre même lorsqu'il n'est pas utilisé. Le rendement, si l'énergie est restituée dans les 15 minutes, se situe aux alentours de 80%, mais il chute si le cylindre est laissé trop longtemps sans être utilisé. De plus, le temps de décharge est très rapide. La quantité d'énergie stockée par ce système est relativement faible.

e. Stockage d'énergie par air comprimé (CAES)

[15] Le stockage par air comprimé consiste à faire fonctionner un compresseur d'air à l'aide de l'électricité produite en surplus pour comprimer de l'air dans des réservoirs à haute pression. L'énergie est ensuite récupérée par la détente de l'air dans une turbine.

Les CAES dis « classiques » ont un rendement moyen, aux alentour des 50%. Ils sont généralement équipés d'une chambre de combustion alimentée au gaz, ou l'air comprimé et le gaz sont brûlés pour améliorer le fonctionnement de la turbine. Cette solution sera oubliée. Avec son apport en gaz, elle n'entre pas dans la vision du projet et la volonté d'être le plus autonome possible.

Pour éviter cet apport de gaz, une solution est de stocker la quantité importante de chaleur produite lors de la compression et s'en servir pour ce préchauffage. On appelle cette technique le « CAES adiabatique ». Le rendement est ainsi amélioré et avoisine les 70%. Cependant, les contraintes de mise en œuvre sont beaucoup plus importantes, un 2ème réservoir étant nécéssaire pour stocker la chaleur à haute température et haute pression :

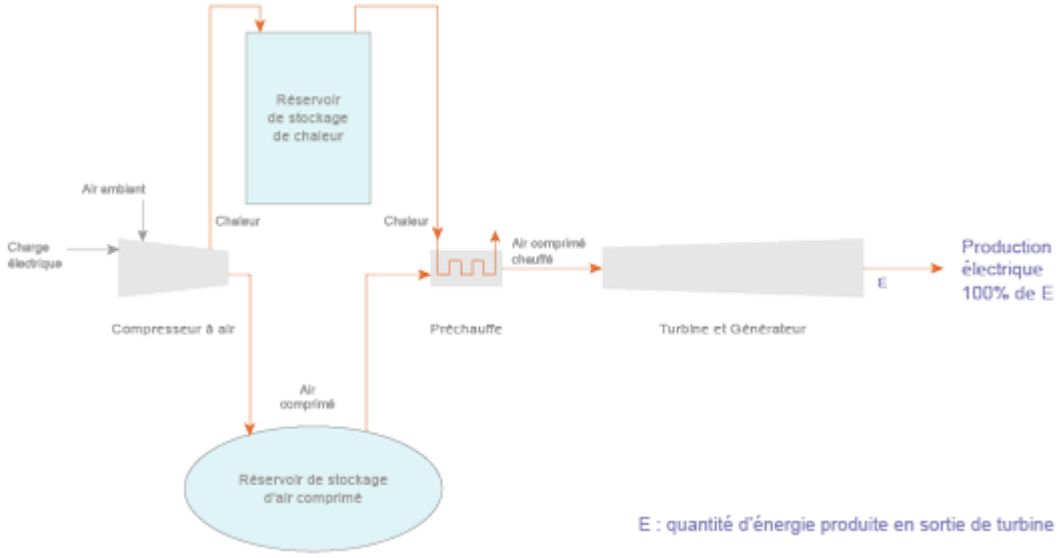


Figure III-12 Principe de fonctionnement du CAES adiabatique [18]

Ce type de système de stockage s'adresse principalement aux grandes puissances, de l'ordre de 10 [MW], et il nécéssite un investissement important lié aux grands volumes des réservoirs sous pression.

f. Transport

[15] Le stockage de l'électricité pour le transport consiste à recharger directement des batteries chimiques de véhicules électriques avec l'énergie en surplus. Ce procédé est plus efficace que d'utiliser l'hydrogène car il n'utilise pas l'éléctrolyse ni la pile à combustible. L'énergie stockée dans la batterie des véhicules est directement utilisée par un moteur électrique lors de l'utilisation des véhicules.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

4. Synthèse et choix

Les tableaux suivants récapitulent les principaux avantages et inconvénients de chacun des modes de production et stockage d'énergies décrits précedemment :

Production électrique :

	Avantages	Inconvénients
Solaire PV	Energie primaire gratuite Couts d'installation et d'exploitation Exposition favorable du site	Energie intermittente
Eolien	Energie primaire gratuite Couts d'exploitation	Energie intermittente Faible potentiel du site Contraintes administratives
CCF	Investissement et couts d'exploitation Valorisation des rejets Production au moment ou la demande est la plus grande	Fonctionne si la chaudière est en marche Technologie encore en developpement
Pico-hydraulique	Aspect éducatif et innovation	Potentiel très faible Investissement Contraintes de mise en œuvre

Production de chaleur :

	Avantages	Inconvénients
Bois énergie	Bois présent en abondance en Valais Fiabilité et robustesse du système	Apport extérieur de combustible Rejets thermiques dans les fumées Frais d'exploitation Nécéssite un volume important (silo)
PAC et forages géothermiques	Aucun apport extérieur du site pour la production de chaleur Rendement	Consommation d'énergie électrique supplémentaire nécéssaire à déterminer Etude de faisabilité pour les forages Investissement
Récup. Chaleur	Valorisation de rejets Investissement	Couplage à un autre système obligatoire Dépendance des autres systèmes emetteurs de chaleur
Solaire thermique	Energie primaire gratuite Exposition favorable du site	Couplage à un autre système obligatoire

Stockage d'électricité :

	Avantages	Inconvénients
Pico STEP en circuit fermé	Aspect éducatif et innovation Durée de stockage Durée de vie	Faible potentiel Investissement Contraintes de mise en œuvre Capacité de stockage Puissance disponible
Power to gas Hydrogène et pile à combustible	Capacité de stockage Puissance disponible Aspect innovation Durée de stockage	Rendement Investissement Durée de vie
Batterie électrochimique lithium-ion	Capacité de stockage Puissance disponible Temps de réponse Rendement Investissement Mise en œuvre	Impact environnemental lors de la construction et du recyclage Durée de vie
Air comprimé CAES Adiabatique	Capacité de stockage	Puissance disponible (uniquement grandes puissances env. 1MW) Contraintes de mise en œuvre
Volant inertie	Temps de réponse Puissance disponible Rendement (Si temps de décharge très court) Durée de vie Coûts d'exploitation	Capacité de stockage Durée de stockage très courte

Le scénario énergétique sélectionné pour l'étude est le suivant :

Production de chaleur :

- Système de récupération d'énergie
- Solaire thermique
- Chaudière bois pellets

La solution de la production de chaleur via une pompe à chaleur géothermique n'a pas été retenue pour cette étude car il est difficile d'évaluer la quantité d'énergie électrique dont elle a besoin pour fonctionner. Elle est cependant pertinente dans l'optique de rendre le site en autarcie totale, c'est-à-dire sans fournisseur extérieur de combustible.

Production électricité :

- Solaire photovoltaïque
- Petite Eolienne à axe verticale

Pour le dimensionnement des systèmes de stockage, l'unique source d'énergie électrique prise en compte est le photovoltaïque. L'énergie produite par le petit éolien étant difficile à prévoir, et négligeable par rapport à la production générée par l'énergie photovoltaïque. Le couplage chaleur force aurait été pertinent, mais l'état actuel des technologies existantes pour la gamme de puissance recherchée est plutôt au stade de développement.

Stockage de l'énergie :

- Batterie chimique Lithium-Ion
- Power to Gaz – Hydrogène et pile à combustible

Malgré son mauvais rendement et ses coûts d'investissement importants, la technologie de power to gas a tout de même été sélectionnée. Elle prend du sens lorsque l'énergie qui y passe est un surplus d'énergie renouvelable et pour un stockage saisonnier, ce qui est le cas ici. En effet, le système de stockage sous forme d'hydrogène sera utilisé pour stocker l'énergie de façon saisonnière, tandis ce que la batterie électrochimique lithium-ion gérera les fluctuations journalières.

IV. Etude du scénario d'approvisionnement en énergie

1. Production de chaleur

a. Chaudière bois

La puissance de la chaudières bois est déterminée en fonction des besoins en chaleur du centre pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. La puissance pour le chauffage a été définie à 56 kW.

Pour l'eau chaude sanitaire, il a été dit que les besoins annuels sont de 83.6 MWh, soit 229 [kWh/jour]. La puissance de chauffe doit permettre de produire cette eau chaude sanitaire en 4h. Cette puissance est donc de 57 kW.

La qualité de l'enveloppe des bâtiments Minergie-P fait que la puissance de production de chaleur est dimensionnée sur la production d'eau chaude sanitaire, tant l'inertie du bâtiment doit permettre de couper le chauffage sans pour autant entraîner de grandes dérives de température.

La puissance de la chaudière bois sera donc de 60 [kW].

Les chaudières bois à pellets ont un rendement supérieur à 90% selon les constructeurs. Une documentation technique d'une chaudière de chez FROLING (Autriche) est disponible en annexe 3. Un rendement de 90% sera utilisé pour estimer le volume de bois annuel consommé par le site :

$$\eta_{chaudière} = \frac{Ef}{PCI_{bois} * m_{bois}} = 90\%$$

Ef : Energie finale, consommation de chaleur [MWh]

PCI_{bois} : pouvoir calorifique du bois granulé = 4.6 [MWh/to]

m_{bois} : Consommation de bois [tonnes]

Le rendement global de l'installation dépend aussi de la qualité du système de distribution d'énergie et du mode de régulation. Le rendement de l'installation a été défini à 90% [19].

Le rendement global a donc été défini :

$$\eta_{global} = \eta_{chaudière} * \eta_{installation} = 81\%$$

La chaleur à produire par la chaudière correspond à l'énergie totale pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Une partie de cette énergie sera assurée par le solaire thermique.

Le silo de stockage devra se situer à proximité d'un accès routier pour faciliter les livraisons de combustible. La chaufferie et le silo seront implantés à l'ouest des bâtiments, du côté de la route.

b. Installation solaire thermique

L'installation solaire thermique doit pouvoir couvrir une part des besoins en eau chaude sanitaire au long de l'année, définie à 50%. La surface de modules à prévoir est de l'ordre de 1 m^2 pour 55 [l/j] de consommation journalière [20]. La consommation d'eau à 60°C a été définie à environ 4000 litres (Voir chapitre II).

$$Surface\ de\ modules = \frac{Consommation\ journalière}{55} = 73\ m^2$$

La surface de modules solaires thermiques à prévoir est d'environ 75 m^2.

La simulation, réalisée à l'aide du programme de dimensionnement POLYSUN à partir des données météo de Arbaz a permi de réévaluer les besoins en énergie en prenant en compte différents critères tels que la température de l'eau froide. La nouvelle consommation annuelle a été estimée à 78.5 MWh. (Rapport annexe 4)

Les modules sélectionnés pour l'étude ont les caractéristiques suivantes :

Surface totale : 75 m^2 ; Inclinaison : 60° ; Orientation : 0° Sud

Le volume de stockage journalier correspond au volume de puisage journalier, soit 4000 litres, divisé en deux réservoirs identiques de 2000 litres. Le schéma suivant montre les données implémentées dans le programme :

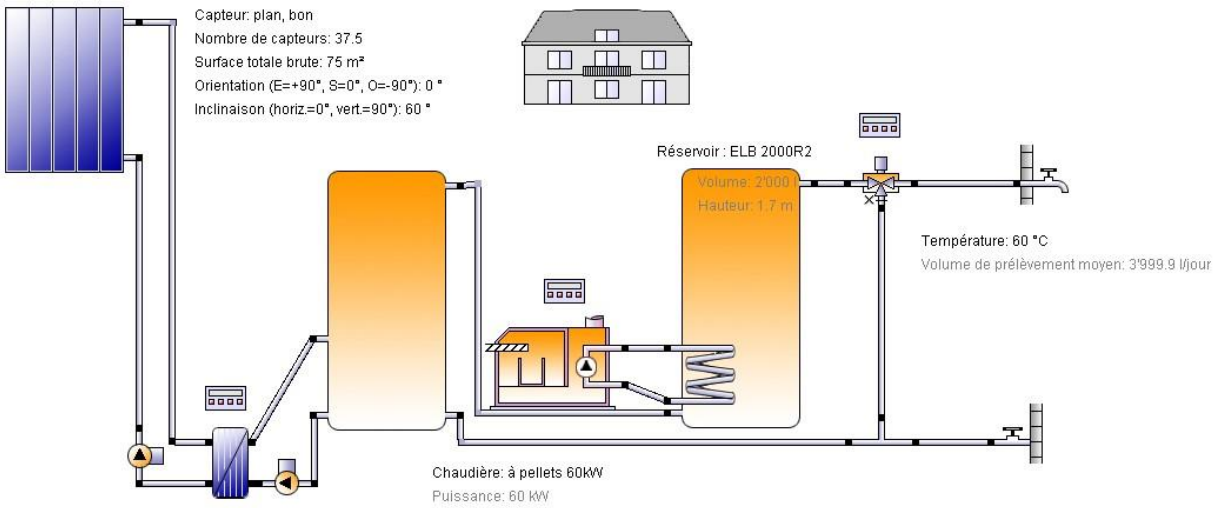


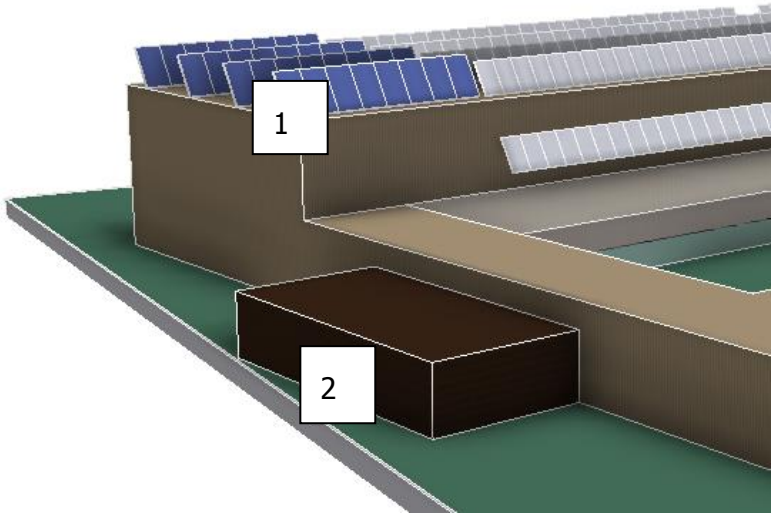
Figure IV-1 Schema de l'installation solaire thermique (polysun)

Le programme donne une production solaire annuelle de 42.3 MWh/an, soit un taux de production solaire de 53.8%. Avec une telle production solaire thermique, l'énergie annuelle supplémentaire à produire peut être calculé :

$$Energie\ à\ produire = Consommation\ totale - Production\ solaire\ thermique$$

Il reste alors 36.2 [MWh] d'énergie à produire annuellement par la chaudière pour la production d'ECS.

Les modules seront installés en toiture du bâtiment principal, coté ouest pour la proximité avec la chaufferie où seront installés les deux ballons de stockage de 2000 litres, comme le montre l'esquisse ci-dessous :



1- Modules solaires thermique
2- Chaufferie

Figure IV-2 Implantation de la chaufferie et des modules solaires thermiques

c. Récupération de chaleur

La récupération de chaleur est un moyen d'éviter de gaspiller de l'énergie en valorisant les rejets. Cette chaleur sera utilisée pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire. Ce procédé est possible sous différents postes au sein du centre :

- Pile à combustible [21]

Lors de son utilisation, la pile à combustible emet autant de chaleur qu'elle ne produit d'électricité. Dans les cas présent, la pile fournit annuellement 1.13 MWh d'électricité. Théoriquement, c'est la même quantité de chaleur qui peut être récupérée, mais la présente étude prendra en compte un rendement de récupération de 80%, amenant la chaleur récupérée annuellement à 900 kWh/an.

- Fumées de la chaudière / couplage chaleur force

Lors du fonctionnement de la chaudière, une grande quantité d'énergie s'échappe dans les fumées. Certains systèmes sont équipés de récupérateurs d'origine, mais il est possible d'ajouter un échangeur de chaleur dans les fumées si ce n'est pas le cas.

- Eaux usées [22]

Avec la mise en place d'un échangeur à l'évacuation des eaux usées venant des douches et du restaurant, une partie de l'énergie contenue dans ces eaux grises peut être récupérée avant qu'elles ne soient évacuées. La quantité d'énergie récupérée est cependant difficilement quantifiable.

Le schéma suivant illustre le principe de la récupération de chaleur des eaux usées pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire :

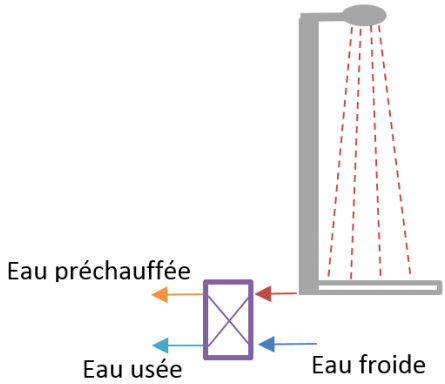


Figure IV-3 Principe de la récupération de chaleur sur les eaux usées

Ce système a pour effet de diminuer la consommation d'énergie due à la production d'eau chaude sanitaire.

- Production de froid

Les systèmes de production de froid pour les chambres froides emettent de la chaleur qui peut être récupérée au niveau des condenseurs. Cela nécéssite la mise en place d'un condenseur adapté, de préférence à eau, pour échanger la chaleur de façon optimale et préchauffer l'eau chaude sanitaire par exemple.

La quantité d'énergie récupérable peut être estimer en fonction de la consommation d'électricité dédiée aux machines frigorifique. Par exemple, la consommation annuelle pour les appareils des chambres froides estimée dans l'étude des besoins est de 1.66 $MWh_{élec}$. Hors, les coefficients de performance chaud des machines frigorifique est généralement supérieur à 2.5 [23]. En considérant un COP de 2, l'énergie récupérable annuellement est de 3.2 [MWh/an], d'après la relation suivante :

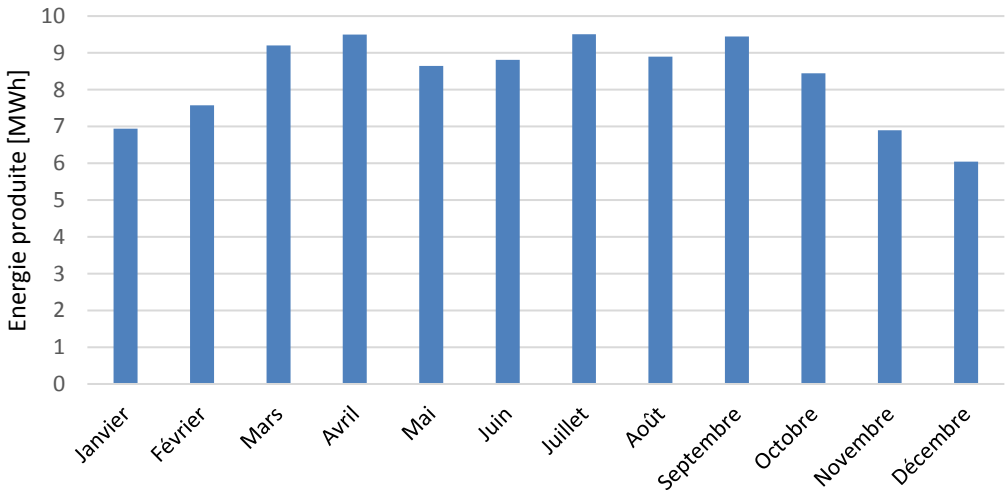
$$COP_{chaud} = \frac{Puissance\ thermique\ condenseur}{Puissance\ électrique}$$

2. Production d'électricité

a. Solaire photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque sera la principale source d'énergie électrique du site. La surface de modules photovoltaïque ayant été estimée dans l'étude préalable donne une puissance installée de 60 [kWc].

Une étude a été réalisée à l'aide du logiciel de dimensionnement PVSyst. Les paramètres de la simulation favorisent la production hivernale. L'inclinaison des modules a été implémentée à 60° et l'orientation plein sud. Le graphique suivant donne les valeurs mensuelles de production solaire :



Graphique IV-1 Production solaire photovoltaique PVSyst (66.5 kWc)

La production électrique estimée par le programme est de 99,9 [MWh/an]. Le programme donne également les valeurs horaires de production. Le rapport de l'étude réalisée sur PVSyst est disponible en annexe 5. Dans ce rapport issu du programme, les parties concernant le stockage et la consommation ont simplement étées implémentées afin de pouvoir réaliser la simulation.

L'installation sera composée de 19 chaînes de 14 modules en série, soit 266 modules et une surface totale brutte de 433 [m^2] et une puissance maximale en fonctionement de 66.5 [kW]. Les modules sélectionnés pour la simulation ont des caractéristiques et dimensions standards :

P_{module} = 250 Wc; U_{mpp} (20°C) = 25,9 V; U_{oc} (-10°C) = 42,1 V

L'inconvénient de l'inclinaison des modules à 60° est la surface au sol nécéssaire pour éviter que les rangées de modules ne se fasse de l'ombre. Ici, chaque rangée doit être espacée de plus de 3 mètres, mais l'espace disponible reste suffisant.

Les modules seront installés d'une part en toiture et d'autre part en tant que barrières des balcons du bâtiment principal, comme le montre l'esquisse ci-dessous :

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

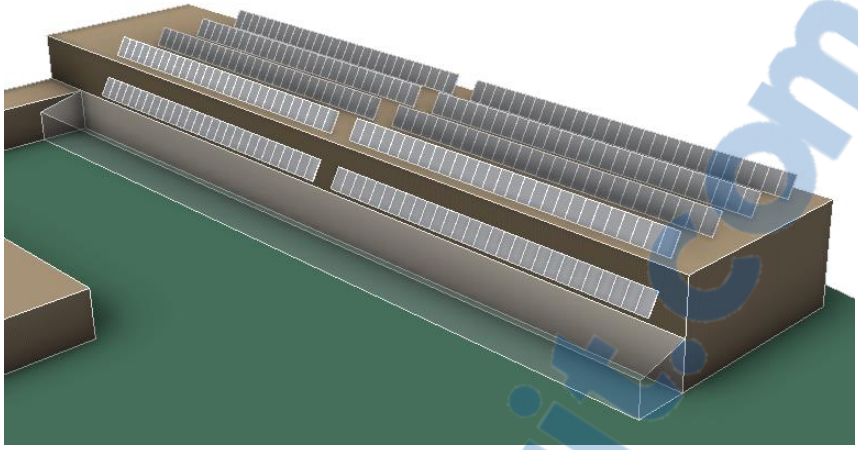


Figure IV-4 Encombrement de l'installation PV

b. Eoliennes à axe verticale

La production énergétique d'une éolienne à axe verticale est négligeable en comparaison à la production de la centrale photovoltaique. Pour cette raison, elle ne sera pas prise en compte dans le dimensionnement des systèmes de stockage et arrivera comme un bonus à l'énergie photovoltaique. L'éolienne présente sur le site aura principalement un rôle éducatif et de démonstration.

A ce titre, le système « arbre à vent » de l'entreprise NEWIND (France), composé de plusieurs mini-éoliennes à axe vertical, démarre avec une vitesse de vent de l'ordre de 2 m/s. Par son design, ce genre de système innovant s'inscrit dans la démarche visant à promouvoir les nouvelles énergies renouvelables auprès de la population qui est parfois effrayé par les éoliennes traditionnelles.

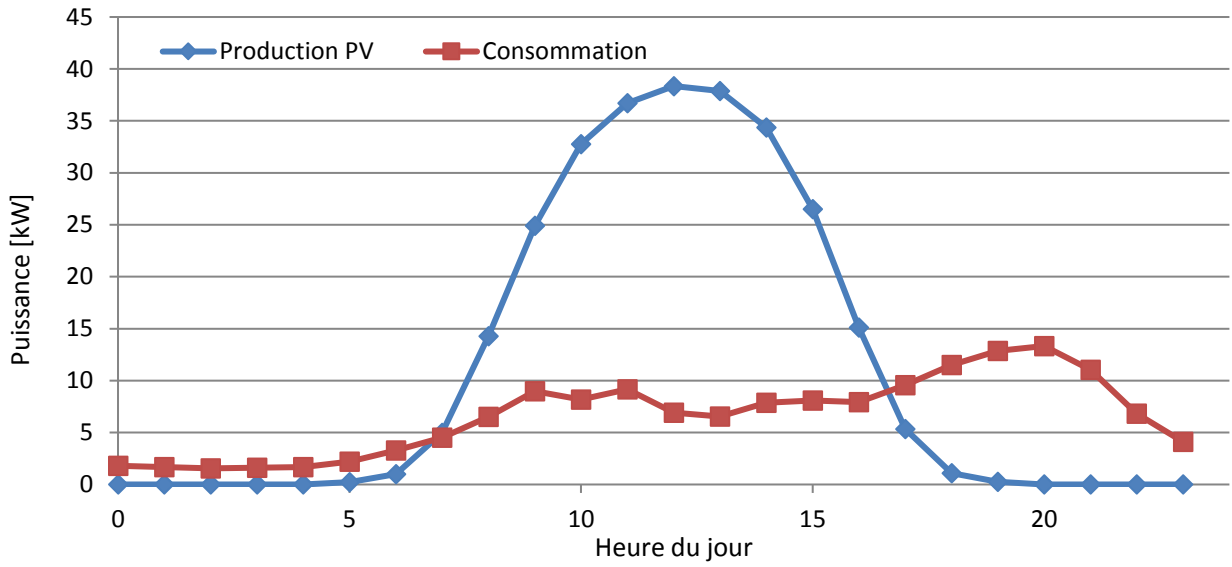
L'arbre à vent peut être implanté n'importe où, de préférence assez loin des bâtiments pour favoriser les vents venant de toutes les directions.

Rapport-Gratuit.com

3. Stockage d'électricité

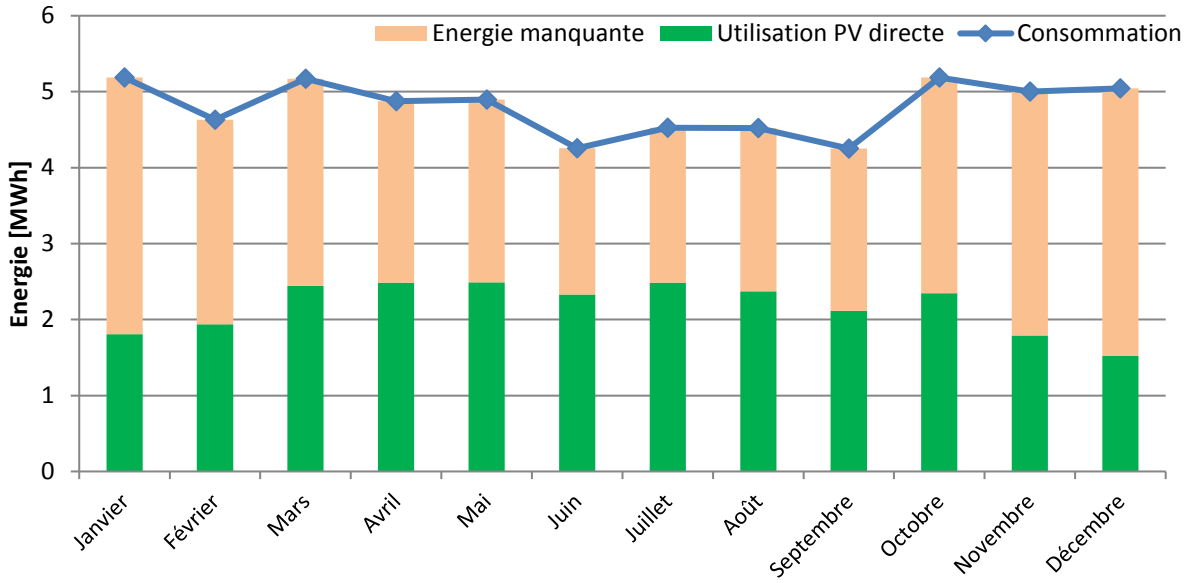
a. Dimensionnement des capacités de stockage

Bien que l'énergie solaire photovoltaïque produise annuellement plus d'énergie qu'il n'en faut pour alimenter le site en électricité, le graphique suivant montre l'obligation de stocker l'énergie obtenue durant la journée pour la restituer le soir :



Graphique IV-2 Valeurs horaires moyennes de consommation et production solaire

Le graphique suivant illustre ce phénomène de manière mensuelle, montrant l'énergie manquante correspondant aux périodes de non-ensolleillement :



Graphique IV-3 Energie mensuelle manquante sans stockage

Un outil excel a été créé pour déterminer quels volumes de stockages sont nécéssaires selon le type de stockage utilisé [24]. Différents rendements de charge/décharge ont pu être appliqués selon le type de système, afin de trouver un volume optimal pour chacun des systèmes dans le but répondre aux besoins du site. Pour mieux comprendre les appellations données dans ce chapitre, elles sont illustrées dans le graphique suivant :

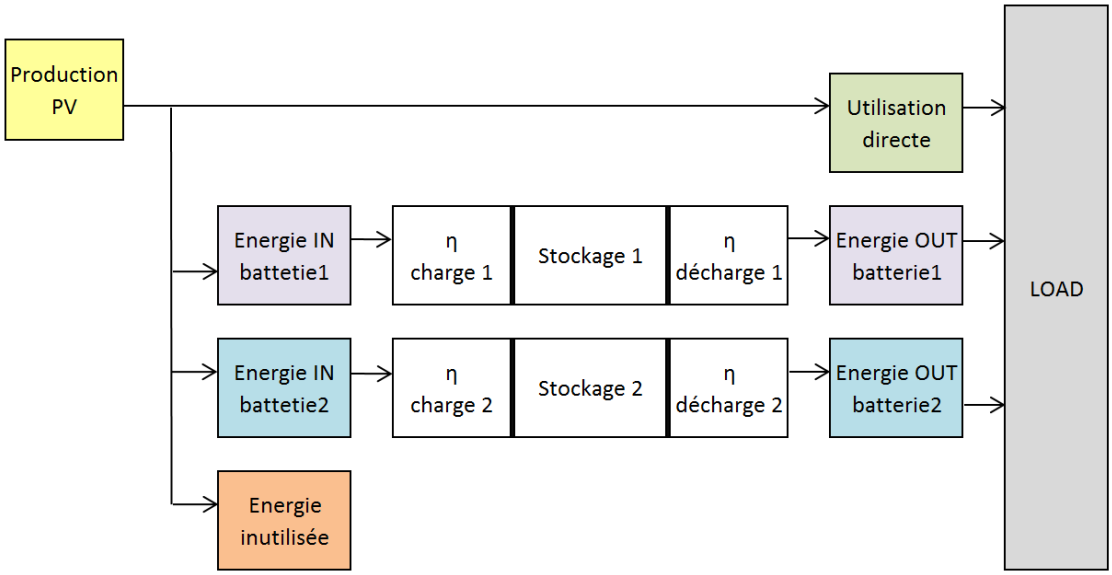


Figure IV-5 Schéma explicatif de l'utilisation de l'energie

Les rendements utilisés pour l'étude sont résumés dans le tableau suivant :

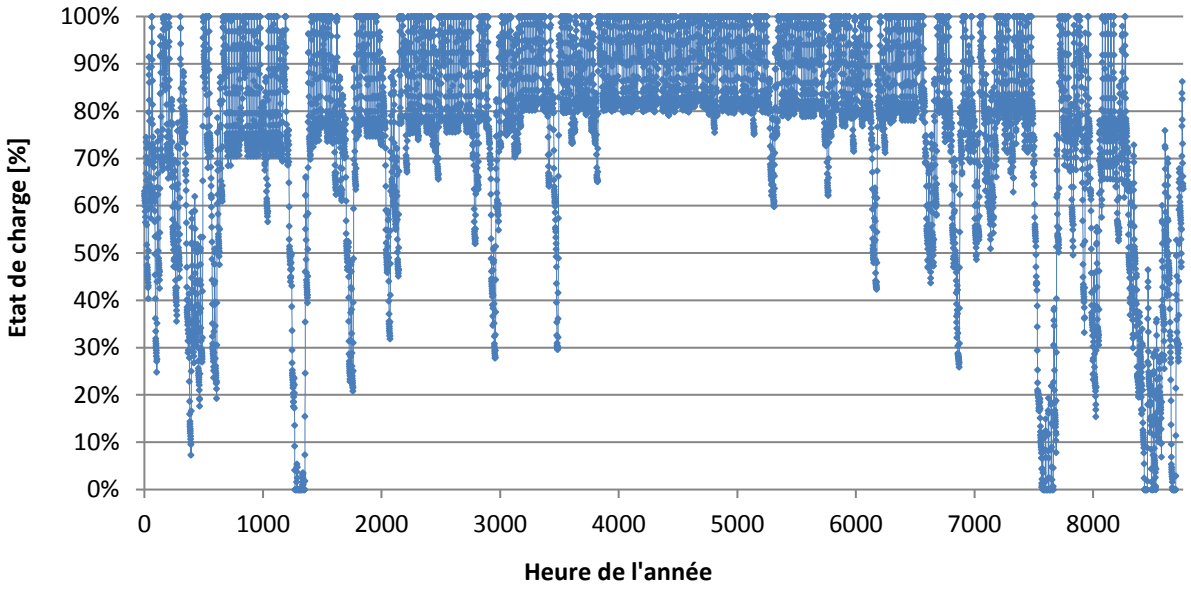
Tableau IV-1 Rendements des différents systèmes de stockage

Système	Rendement charge	Rendement décharge
Batterie chimique lithium-ion (1)	0.9	0.88
Electrolyse et pile à combustible (2)	0.6	0.4

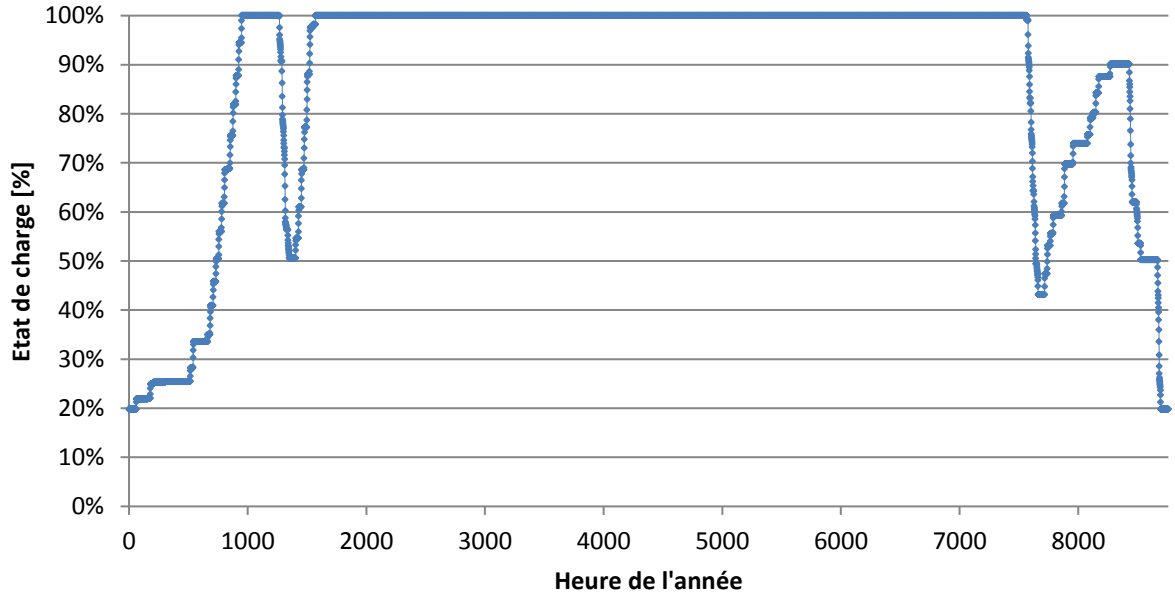
Ainsi, les capacités des systèmes ont été déterminées en observant leurs états de charge dynamique avec la contrainte que le système de stockage secondaire reste au minimum rempli à 20% pour garder une certaine marge de sécurité. La capacité de stockage est définie ici comme la quantité d'énergie stockable en prenant en compte le rendement de charge des systèmes.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Avec 400 [kWh] de capacité de batterie lithium-ion en système prioritaire (stockage journalier), et un volume de stockage d'hydrogène de 1600 [kWh] en système secondaire (stockage saisonnier), l'état de charge des système de stockage évolue de telle manière:



Graphique IV-4 Système prioritaire de stockage : Batterie lithium-ion 400kWh

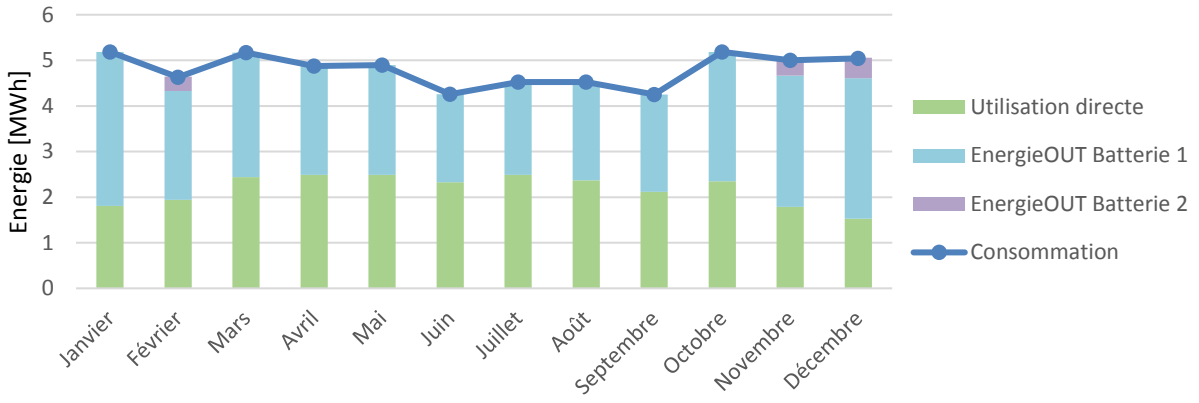


Graphique IV-5 Système secondaire : Electrolyse et pile à combustible 1600 kWh

Remarques : Le système de production d'hydrogène est placé en secondaire à cause de son faible rendement ; si il était prioritaire, une grande partie de l'énergie serait dissipée en chaleur et la production ne permettrai pas de répondre aux besoins.

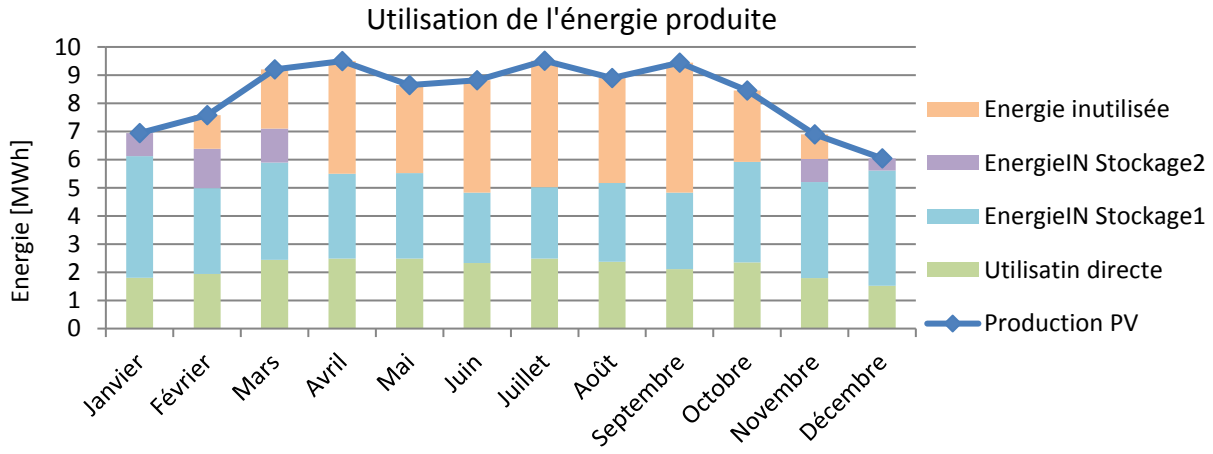
Le système secondaire est utilisé à certains moments de la période hivernale, à peine 2 mois par an au total.

Ce scénario permet de répondre aux besoins électriques pour l'éclairage, la ventilation et les appareils, comme le montre le graphique ci-dessous :



Graphique IV-6 Consommation en electricite

En dimensionnant ces capacités pour répondre aux besoins, une énorme quantité d'énergie produite n'est ni utilisée ni stockée, donc gaspillée au long de l'année :



Graphique IV-7 Production d'electricité

Le schéma suivant synthétise les résultats obtenus pour le scénario étudié, en terme de flux d'électricité annuel :

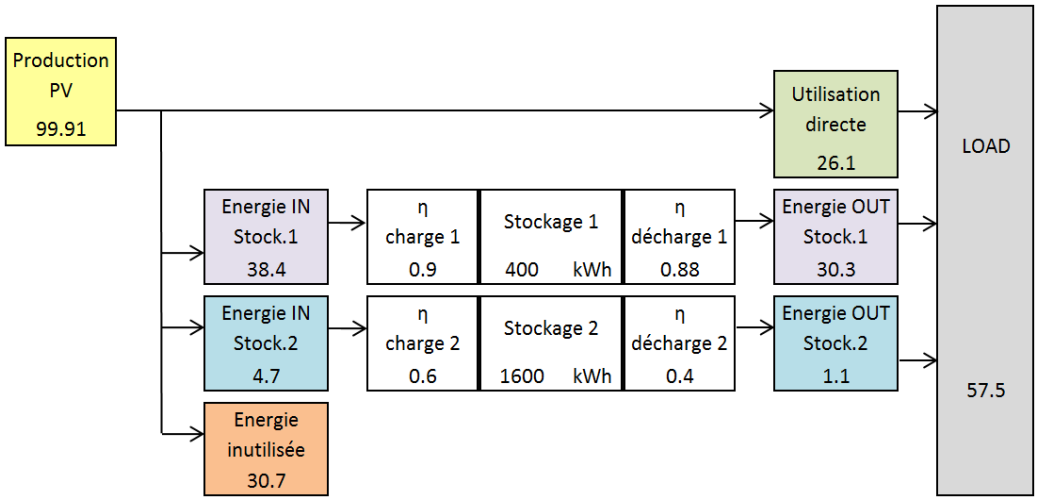


Figure IV-6 Synthese du scénario de stockage d'électricite [MWh]

Le rendement global des installations de stockage peut être calculé de la manière suivante :

$$\eta_{global} = \frac{\sum Energies_{out}}{\sum Energies_{in}} = 72{,}9\%$$

Le rendement global des systèmes de stockage est relativement bon car la pile à combustible est peu utilisée en comparaison des batteries électrochimiques.

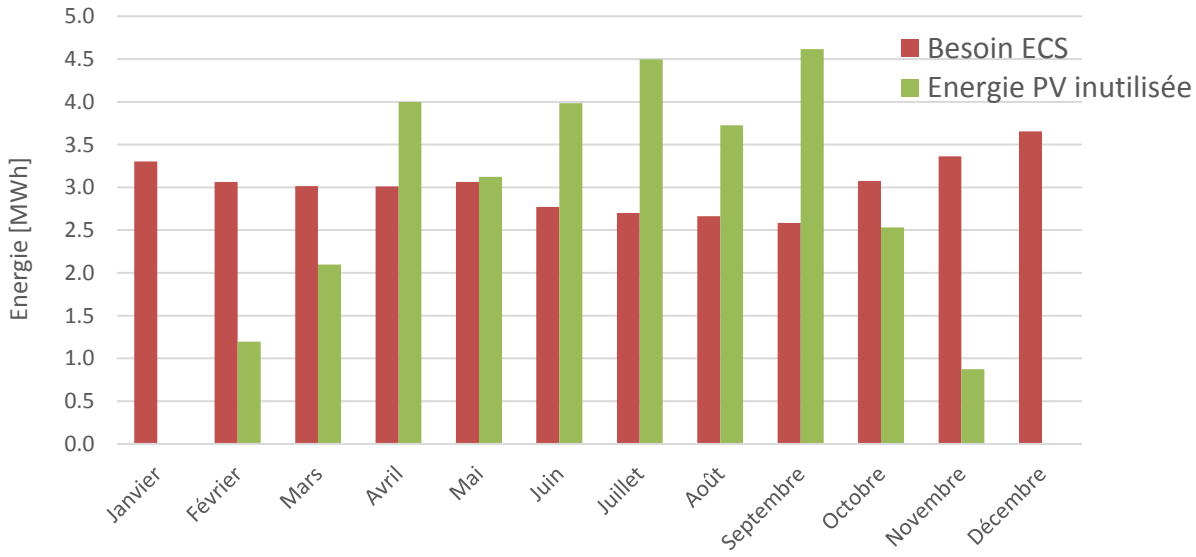
Au total, ce sont plus de 30 [MWh/an] d'énergie solaire qui sont inutilisés annuellement. L'étape suivante consiste à trouver un moyen d'utiliser cette énergie d'une façon qui soit bénéfique pour le centre. L'idéal serait de pouvoir choisir comment est utilisée cette énergie selon la période de l'année et les besoins du centre.

b. Utilisation du surplus d'électricité

Le scénario étudié consiste dans un premier temps à réaliser la production de l'eau chaude sanitaire en période estivale. Le surplus restant sera utilisé dans des batteries de véhicule électriques, ainsi que dans un volume supplémentaire d'hydrogène servant en stockage de sécurité. En effet, le surplus de l'investissement lié au surdimensionnement du stockage d'hydrogène est faible compte tenu de l'investissement global d'une telle installation. L'idée retenue est de doubler le volume d'hydrogène défini précédemment. Ainsi, un stockage de 1600 [kWh] de sécurité pourra être utilisé selon les besoins du centre.

- ECS en été à partir du surplus de production photovoltaïque :

Le graphique suivant montre que l'énergie électrique inutilisée est supérieure aux besoins d'eau chaude sanitaire pendant cette période de coupure du chauffage (de Mai à Septembre) :



Graphique IV-8 Utilisation de l'énergie inutilisée pour la production d'ECS en été

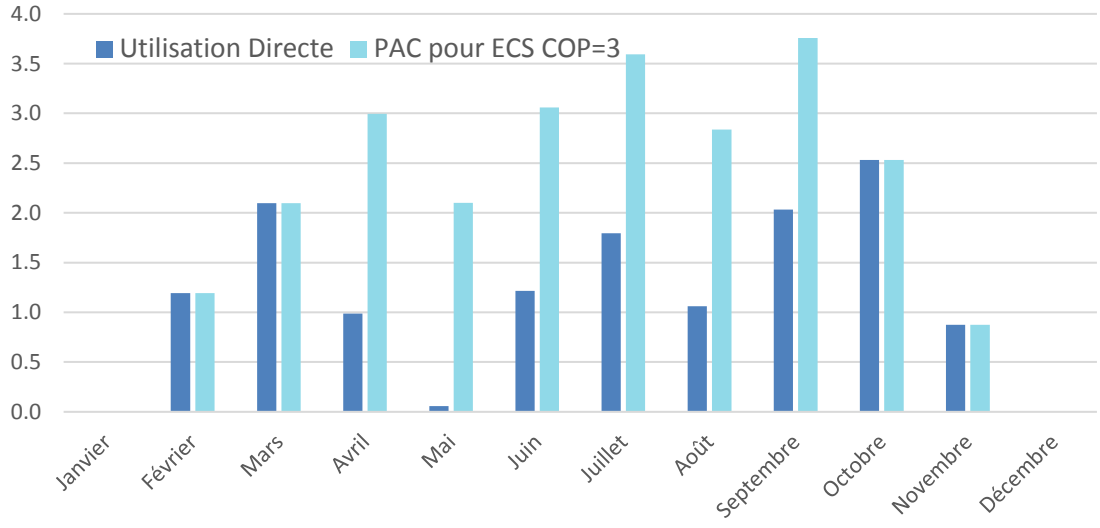
Ainsi, la chaudière peut être laissée à l'arrêt en dehors des périodes de chauffage.

De mai à septembre, le besoin d'énergie pour la production d'ECS est de 16.8 [MWh]. Le tableau suivant résume l'économie que cela engendre sur le coût annuel de l'énergie si l'eau chaude était produite par la chaudière bois :

Tableau IV-2 Economie due à la production d'ECS par le solaire photovoltaique en été

Economie énergie	16.8	MWh
Rendement global	0.81	
Energie primaire	20.7	MWh
PCI Bois pellets [25]	4.6	MWh/to
Economie bois	4.51	to
Coût granulé [26]	370	CHF/to
Economie financière	1668	CHF/an

Cette énergie peut être totalement fournie par le photovoltaïque en utilisation directe, mais une pompe à chaleur permettrai de réaliser des économies d'énergie. Le graphique suivant montre le surplus d'électricité restant après production d'ECS en été avec pompe à chaleur (COP de 3) et en utilisation directe :



Graphique IV-9 Surplus d'énergie électrique restant après prod. ECS en été

L'énergie inutilisée restant après cela s'élève à 13.8 [MWh/an] dans le cas de l'utilisation électrique directe, et 25 [MWh/an] avec la pompe à chaleur, soit 11,2 [MWh/an] d'économisés. Pour le reste de l'étude, la solution de l'utilisation directe de l'électricité sera retenue. L'énergie utilisée directement passe donc de 26.1 MWh initialement à 42.9 [MWh]

- Mobilité électrique

En considérant un stockage de 1600 kWh dédié à l'approvisionnement d'urgence, La quantité d'énergie photovoltaïque nécéssaire à son remplissage est de 2.7 [MWh] en prenant en compte le rendement de 60% de l'électrolyseur. Il reste donc 11.1 [MWh] d'électricité à utiliser dans des véhicules électriques.

Tableau IV-3 Nombre de trajets réalisables entre Sion et Arbaz avec l'énergie électrique en surplus

Energie disponible	11.1	MWh
Nombre de kilomètres	7914	km/an
Nombre trajet Sion	565	trajets/an
Allers/retours	283	Allers/retour
Taux annuel	0.75	Les 3/4 de l'année
Aller retour/jour	1	Aller/retour/jour

**Valeur de 1.4 kWh/km (valeur de la pré-étude de 1.01 kWh/km vue à la hausse.*

***Sion > Arbaz = 14 km*

L'énergie restante permettrai de réaliser 1 aller/retour entre Arbaz et Sion pendant les ¾ de l'année.

c. Encombrement

Les systèmes de stockage seront implantés au nord du bâtiment principal, mais restant tout de même à proximité pour les visites ou démonstrations.

- *Stockage journalier : batteries chimiques*

La marque américaine TESLA propose aujourd'hui des batteries lithium ion de grandes capacités pour les applications stationnaires : le système POWERPACK. Ce système permet de stocker 210 [kWh/unité] pour une puissance allant jusqu'à 50kW, dans un volume relativement faible.

Le constructeur propose également les onduleurs et convertisseurs adaptés à ces systèmes, eux aussi très compactes. (Caractéristiques techniques annexe 6)

Deux systèmes powerpack et un onduleur seront installés au nord du bâtiment principal.

- *Stockage saisonnier : Poer-to-gas et stockage d'hydrogène et d'oxygène*

Les électrolyseurs et piles à combustibles seront placés dans l'espace prévu à cet effet, au nord du bâtiment principal. A titre d'exemple, la « Greenergy box » d'Areva (France), qui comprend tous le matériel nécessaire (électrolyse, pile à combustible et récupérateurs de chaleur) entre dans un volume relativement compact (Documentation en annexe 7):

Un volume supplémentaire sera réservé dans l'optique de pouvoir un jour expérimenter des piles à combustible, électrolyseurs ou autres systèmes de stockage innovants sur le site. A titre d'exemple, les documentations de l'électrolyseur et de la pile à combustible de chez SWISSHYDROGEN sont également disponible en annexe 8.

Le volume de stockage d'hydrogène a été dimensionné en calculant la masse d'hydrogène contenue lorsque la capacité est pleine :

$$m_{H_2} = \frac{\text{Capacité de stockage}}{\text{Densité énergétique } H_2} = 48.5 \text{ kg } H_2$$

m_{H2} : masse d'hydrogène stockée au maximum [kg H_2]

Capacité de stockage = 1600 [kWh]

Densité énergétique H_2 =33 [kWh/kg]

La quantité molaire d'hydrogène a ensuite été calculée : $n_{H_2} = \frac{m_{H_2}}{M_{H_2}} = 24002 \text{ [mol]}$

nH_2 : quantité d'hydrogène [mol]

M H_2 : Masse molaire du di-hydrogène = 2.02*10 $^{-3}$ [kg/mol]

Le volume de stockage peut alors être calculé grâce à la loi des gaz parfaits :

$$V = \frac{nH_2 * R * T}{p}$$

V : Volume [m3]

R : Constante des gaz parfaits = 8.31 [J/(mol*K)]

T : Température du stockage [K]

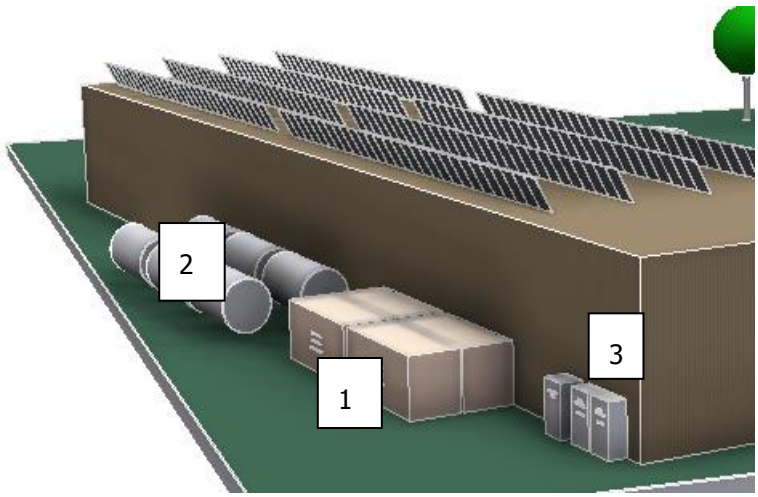
p : pression de stockage [Pa]

Le volume normalisé (p=1bar, T=0°C) est de 544 [Nm^3] (normaux mètres cubes).

L'électrolyseur produit l'hydrogène à 30 [bars]. En fixan une température de 15°C pour le stockage, le volume obtenu est de V_{stock} (30bars, 15°C) = **19.1 m³**.

Par mesure de sécurité, le volume installé sera de 25m^3. Un stockage pour l'oxygène doit aussi être installé, d'un volume 2 fois inférieur au volume d'hydrogène. Des réservoirs de stockage cylindriques seront installés au nord du bâtiment principal.

L'esquisse suivante montre l'encombrement des systèmes de stockage :



1- Contener Power to gas-du type Areva « GreenergyBox » (x4)

2- Réservoirs H_2 / O_2 avec sur-dimensionnement pour stockage de sécurité

3- Stockage electrochimique type Tesla POWERPACK et onduleur

Figure IV-7 Encombrement des systèmes de stockage d'electricite

d. Schémas de principe

Afin d'éviter au maximum les pertes d'énergie, la conception du réseau électrique doit limiter au maximum les multiples transformations. Les systèmes de stockage étant utilisables en courant continu, l'idée est d'utiliser un réseau de courant continu entre la production solaire photovoltaïque et les systèmes de stockage, et de n'utiliser qu'un seul convertisseur en courant alternatif juste avant le consommateur :

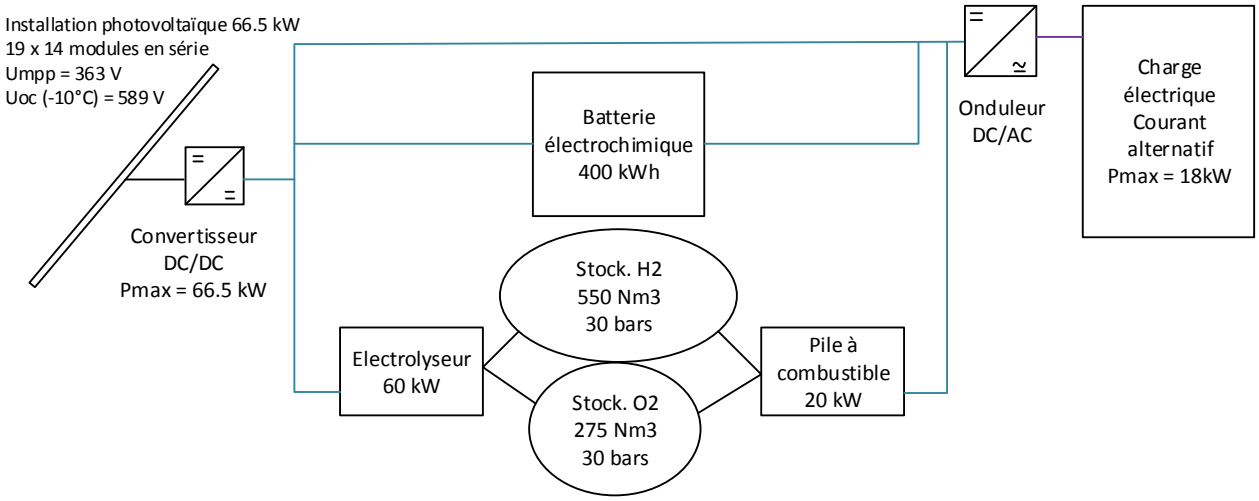


Figure IV-8 Schéma de principe électrique simplifié

Une conception plus poussée du schéma électrique est nécéssaire, notamment au niveau des différents convertisseurs, en fonction des éléments existants sur le marché pour déterminer si cela est réalisable.

V. Valorisation des déchets

1. Création de biogaz : la méthanisation

[27] La méthanisation est un processus qui vise à transformer la matière organique contenue dans les déchets en biogaz, mélange gazeux contenant principalement du méthane et du dioxyde de carbone. Ce processus naturel doit être réalisé dans un réservoir appelé « digesteur » de manière anaérobique, sans contact avec l'oxygène. Tous les éléments issus de la méthanisation peuvent être réutilisés sur le site :

- Le méthane peut servir de combustible pour le chauffage ou la cuisine.
- Le dioxyde de carbone et le digestat (résidus solide restant à la fin du processus) peuvent être utilisés dans les serres afin d'améliorer le rendement de production.

La difficulté consiste à maîtriser parfaitement les déchets avec lesquels le digesteur est alimenté. L'alimentation doit se faire de façon régulière pour assurer un fonctionnement optimal. Les potentiels déchets ou sources d'alimentation du digesteur identifiables sur le site sont les suivants :

- Toilettes sèches
- Excréments d'animaux
- Déchets verts issus de l'agriculture
- Déchets organiques du restaurant

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

La variabilité des déchets pose un problème ; les bactéries n'aiment pas être bouleversées dans leur alimentation. Cela a pour effet de réduire le rendement global du digesteur. Toutefois, si le système permet de traiter et valoriser les déchets sur place, le rendement du système n'est pas le critère principal.

Le paramètre important à prendre en compte lors de la conception d'un digesteur est le temps de rétention hydraulique (TRH). C'est le temps qu'il faudra à un certain type de déchet pour être totalement « digéré » par le méthaniseur. Le temps de rétention hydraulique dépend non seulement du type de déchet utilisé (la part de matières sèche), et surtout de la température à laquelle fonctionne le digesteur. On distingue 3 classes principales de températures :

- Psychrophiles (5-25°C)
- Mésophile (25-40°C)
- Thermophile (45-60°C)

Travailler à des températures élevées permet de diminuer de manière significative le temps de rétention hydraulique, et donc le volume du digesteur. En revanche, cela nécéssite un apport de chaleur pour fonctionner à température constante toute l'année. Pour un apport identique de matière, le volume utile du digesteur sera réduit en travaillant avec des températures élevées.

Le méthaniseur a été dimensionné en function de la quantité de déchets organiques que fournit le centre. Les matières fécales provenant des toilettes sèches et les déchets provenant du restaurant ont été prix en compte dans l'étude. La quantité de matière organique est calculé en fonction de la part de matières sèches des différentes sources :

$$Mat\ organique = Quantité\ brute * Part\ Mat.Sèche * Part\ Mat.Org$$

Quantité brute : Quantité de déchets amenée au digesteur [kg]

Part mat sèche : Part de matière sèche selon le type de déchet [%]

Part mat Org : Part de matière organique selon le type de déchet [%]

La quantité de déchets a été estimée selon des valeurs cibles de production journalière de matière organique par personne ou par repas:

Tableau V-1 Production de biogaz annuelle estimée [27]

		Matières fécales	Repas	
Nombre	Unit/an	6350.0	35000.0	
Production journalière	kg/jour/unit	0.3	0.0	
Part matière sèche	%	20%	10%	
Part matière organique	%	80%	50%	
Quantité Mat Org Journ	kgMO/unit / jour	0.048	0.001	
Quantité Mat Org Annuelle	kgMO/unit / an	17.5	0.4	
Total annuel	kgMO/an	111252.0	12775.0	
Potentiel biogaz	kgMS / m^3 biogaz	16.0	3.3	
Part méthane dans biogaz	%	50%	50%	
Quantité méthane	m^3 / an	3477	1936	**5412.2**

La quantité de méthane produite annuellement est de 5412 [m^3/an].

Au total, la quantité de déchets amenés au digesteur est donc estimée à 2605 kg, soit 7.1 [kg/jour].

Le temps de rétention hydraulique est déterminé à l'aide de tables, il varie selon la température de fonctionnement du digesteur, et il est déterminant pour connaître le volume minimal nécéssaire au digesteur :

$$V_{digesteur} = m_{déchets} * Volume\ massique * TRH$$

$V_{digesteur}$: Volume minimum du digesteur

$m_{déchets}$: masse de déchets journaliers = 7.1 [kg/jour]

Volume massique = 0.001 [m^3/kg]

TRH : Temps de rétention hydraulique [jour]

Le tableau suivant résume les volumes de digesteurs obtenus selon différentes température de fonctionnement, et pour un taux de matière sèche de 10% (possibilité d'ajouter de l'eau si le mélange est trop sec) :

Tableau V-2 Volume du digesteur en fonction de la température

Température [°C]	15	35	55
Temps rétention hydraulique [jour]	192	16	2
Volume digesteur [litres]	1 362	113	14

En fonctionnant à 15°C, le volume du digesteur nécéssaire est de 1.36 m^3. Cette solution sera retenue car elle permet de faire fonctionner le digesteur sans consommer trop d'énergie pour le réchauffer. La quantité de déchets pouvant être augmentée par exemple en ajoutant les

excréments des animaux ou les déchets végétaux issus des jardins et des serres, le volume du digesteur sera surdimensionné à 2,5 m^3. Un réservoir de stockage du biogaz créé est nécéssaire.

Le méthane créé peut être utilisé par exemple pour la cuisson du restaurant. Les besoins énergétiques d'une plaque de cuisson sont calculés de la manière suivante :

$$V_{méthane} = \frac{P_{cuisson} * t_{utilisation}}{PCS_{méthane} * \eta cuisson}$$

$V_{méthane}$: Volume de méthane [m^3]

$P_{cuisson}$: puissance de cuisson [kW]

$t_{utilisation}$: temps de fonctionnement annuel [h/an]

$PCS_{méthane}$: Pouvoir calorifique du méthane = 7.5 [kWh/m^3] [23]

$\eta_{cuisson}$: rendement estimé = 50%

A titre indicatif, une plaque de cuisson de 8kW qui fonctionnerai 6h/jour toute l'année consommerai 4672 m^3 de méthane.

2. Traitement des eaux grises : la phytoépuration

Les eaux grises sont toutes les eaux domestiques (cuisines, lavabos, douches…) hormis les toilettes. La phyto-épuration consiste à épurer ces eaux usées sur place en utilisant la végétation. Des micro-organismes vont capter tous les composants organiques ainsi que les polluants présents dans ces eaux usées pour favoriser la croissance de plantes. Pour être efficace, le traitement des eaux grises par phyto-épuration est réalisée en plusieurs étapes :

- Pré-filtration

Mise en place d'un filtre à paille pour retenir les graisses. Le filtre doit être entretenu et remplacé régulièrement.

- Traitement biologique

L'eau circule horizontalement dans un bassin rempli de substrats et de plantes diverses qui vont absorber les nitrates, phosphates ainsi que les polluants ménagers. Le bassin doit être entouré d'une bâche étanche.

- Stockage / évacuation

L'eau est ensuite acheminée dans un dernier « bassin » d'exutoire. Elle peut être stockée et réutilisée à des fins non-potable (arrosage, lavage,…), ou réinjectée dans le sol sans risques de pollution. La mise en place d'un étang à la sortie peut avoir un aspect esthétique ou ludique, l'eau y étant propice à la vie de poissons et de végétaux, et dans certains cas à la baignade.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Le schéma suivant illustre les différentes étapes de la phytoépuration :

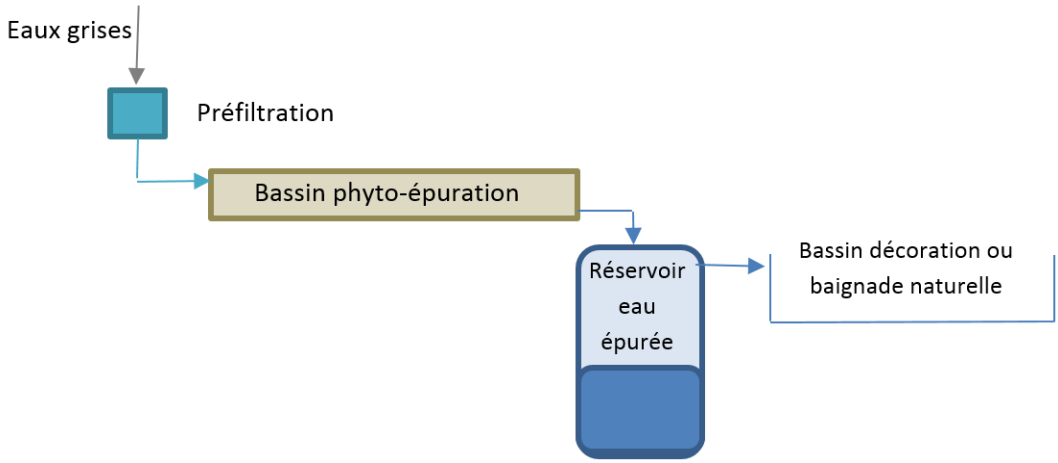


Figure V-1 Traitement des eaux grises

Pour s'affranchir d'une pompe de relevage qui représenterai une consommation d'électricité supplémentaire, les bassins devront être à un niveau inférieur à l'évacuation en eau des bâtiments pour garantir un écoulement gravitationnel de l'eau entre les différentes étapes de traitement.

La solution retenue consiste à réaliser deux bassins de traitement distincts : un bassin pour le bâtiment principal et l'autre pour le bâtiment d'hébergement.

La surface des bassins est dimensionnée en fonction du nombre d'équivalents habitants (EH). Le calcul du nombre d'équivalents habitants du centre est résumé dans le tableau suivant [28] :

Tableau V-3 Aide au calcul des équivalents habitants

Bureau	0.33	EH/employé
Atelier	0.5	EH/ouvrier
Hotel	1	EH/lit
Restaurant	0.25	EH/couvert

En prenant le nombre d'employé de bureau de 7 personnes et 3 dans les ateliers, le nombre d'équivalents habitants du centre s'élève à 28 pour le bâtiment principal et 50 pour le bâtiment d'hébergement.

Les différents fabricants et associations préconisent une surface de 1 à 2 [m^2/eq.hab] [29]. Si la surface le permet, il peut être judicieux d'utiliser les plantes des serres pour épurer les eaux usées du bâtiment principal. Sinon, le bassin du bâtiment principal devra avoir une surface de 56m2 et 100m2 pour le bassin du bâtiment d'hébergement.

Un réservoir pour l'eau épurée derva être installé pour répondre aux besoins du site en eau d'arrosage et de lavages extérieurs. La mise en place de cette cuve entrainera l'utilisation d'une pompe pour assurer une pression suffisante aux points d'eau. Le trop plein du réservoir sera acheminé vers un bassin décoratif ou de baignade naturelle. L'esquisse suivante montre l'encombrement des bassins de phytoépuration :

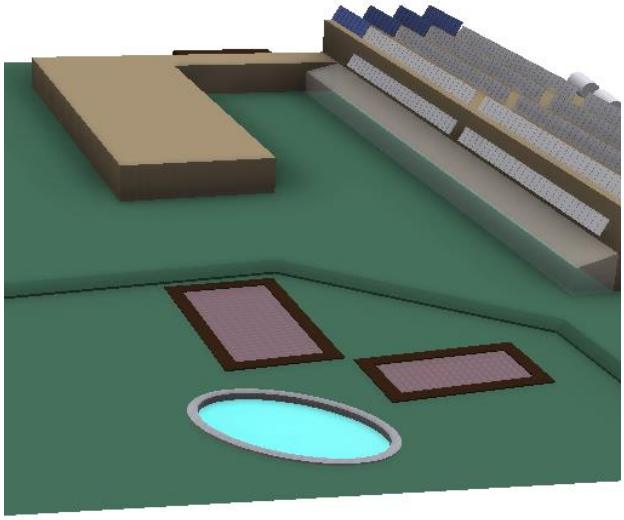


Figure V-2 Encombrement du traitement en phytoépuration des eaux grises

ATTENTION : Le traitement d'eau par les plantes est soumis à des contraintes administratives lourdes, surtout pour les établissements acceuillant du public. Des demandes d'autorisations doivent être effectuées avant de décider d'opter pour ce procédé. D'autre part, il existe des organismes pour lesquelles, dans certaines conditions, ce procédé est une atteinte à l'environnement à long terme [30]

3. Récupération des eaux de pluie

La récupération des eaux de pluie constitue un enjeux important pour limiter de façon significative la consommation d'eau. L'eau de pluie doit être filtré à plusieurs niveaux de filtrations, dont le niveau le plus fin est de l'ordre du micromètre pour être à nouveau considérée comme potable.

Ces installations de filtration constituent un investissement et des contraintes de mise en oeuvre importantes, ainsi que des frais d'exploitation non négligeables, notament avec le remplacement des filtres. Ceci dit, ce procédé permet de revaloriser l'eau venant du ciel en la réutilisant.

La valeur moyenne de pluviométrie sur les 10 dernières années à Uvrier est de 600 mm/an [31].

Pour une surface de toiture de 1000m^2 et un taux de récupération de 80%, le volume d'eau récupérable est de 485 m^3/an

ATTENTION : Comme pour la phytoépuration, les contraintes administratives concernant la potabilisation de l'eau sont très lourdes.

VII. Synthèse

1. Bilan énergétique et financier

Les flux d'énergie annuels sont décrits dans le schéma ci-dessous :

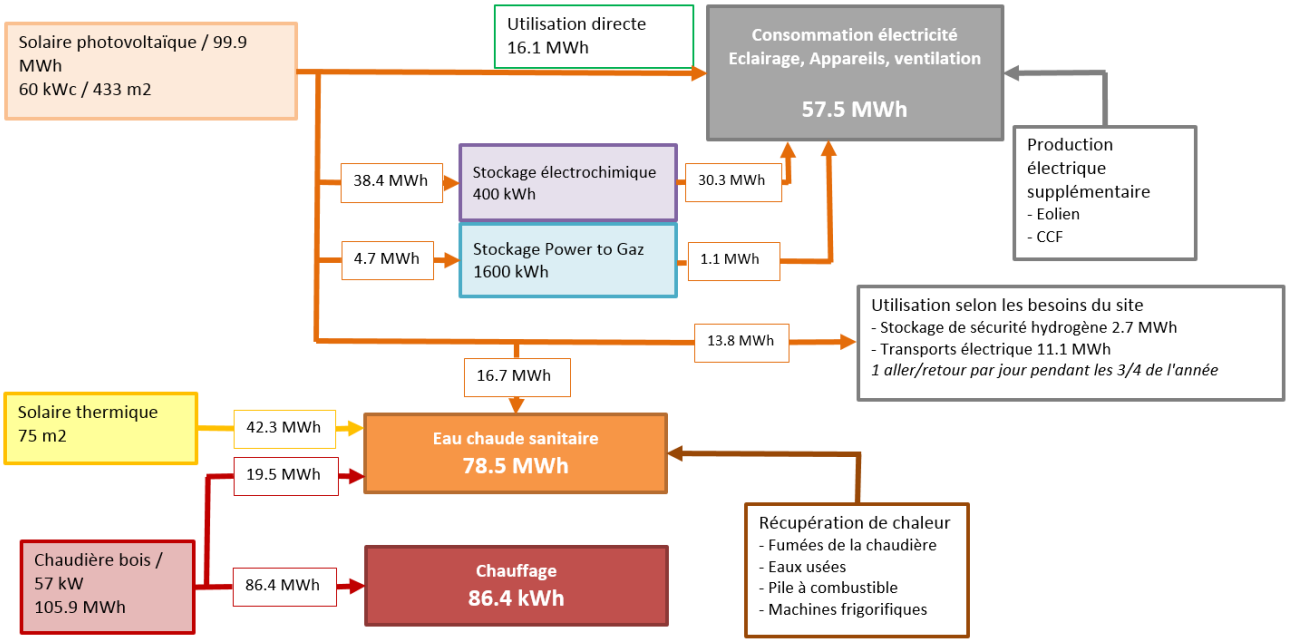


Figure VII-1 Shema des flux energetiques annuels

La quantité de bois consommée annuellement a été calculée pour ce scénario :

Tableau VII-1 Coût annuel de l'énergie

Besoin chaleur	164.9	MWh
Prod solaire thermique	42.3	MWh
Production ECS avec PV en été	16.8	MWh
Besoins chaleur	105.9	MWh
Rendement global	0.81	
Achat énergie	130.7	MWh
PCI Bois pellets[25]	4.6	MWh/to
Achat bois	28.4	to
Cout granulé [26]	370	CHF/to
Coût annuel énergie	10 513	CHF

Dans ce scénario, bien que le centre soit en autarcie électrique, le coût annuel de l'énergie dépasse les 10'500 CHF.

2. Variante : raccordement réseau

a. Présentation de la variante

Afin d'évaluer l'intérêt réel d'être totalement coupé du réseau, une analyse des flux d'énergie a été céé, en prenant en compte les paramètres suivants pour la seconde variante :

- Raccordement au réseau électrique
- Mise en place d'une seule batterie électrochimique 200 kWh comme stockage
- Quantité de modules photovoltaique identique au scénario décrit précedemment
- Production de chaleur identique au scénario décrit précedemment

Le schéma suivant synthétise les résultats obtenus avec cette configuration :

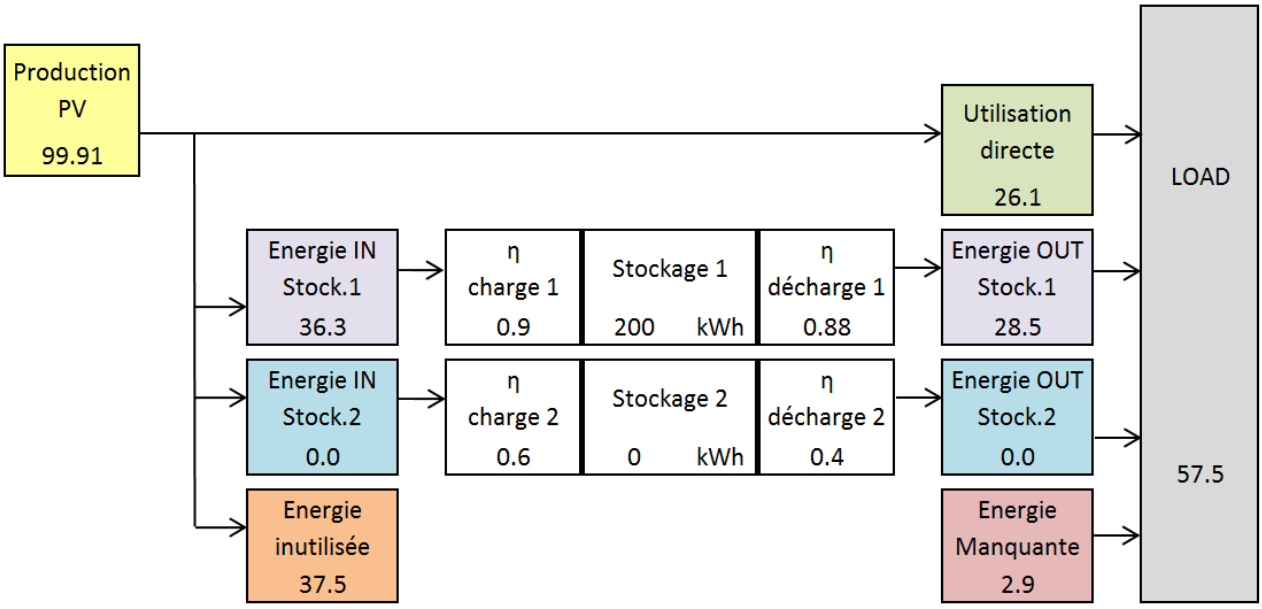
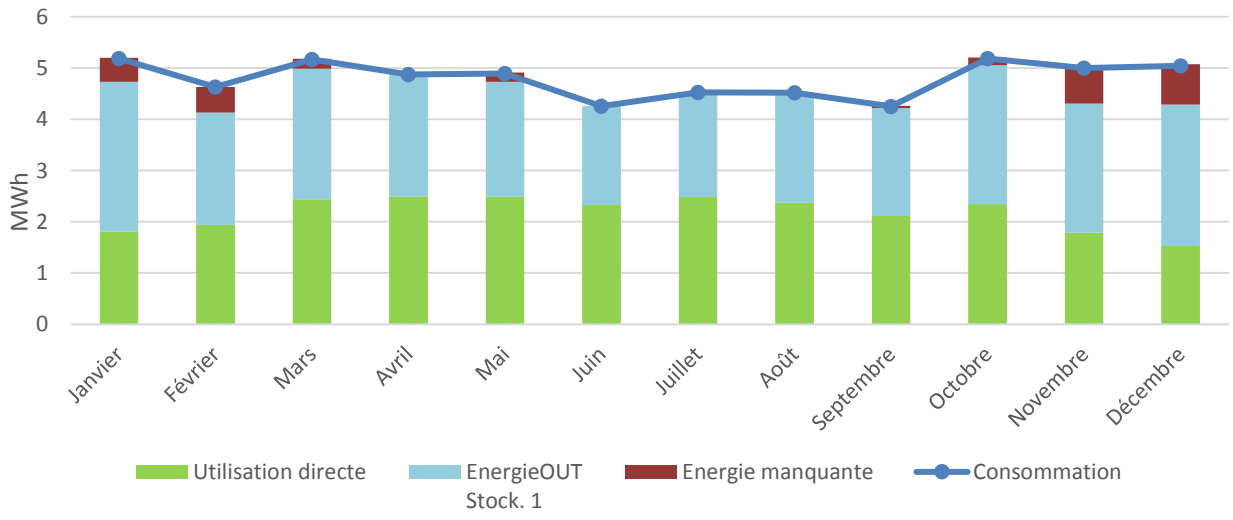


Figure VII-2 Synthese pour le scénario "raccordement réseau"

Le graphique suivant montre qu'avec cette configuration, l'énergie produite et stockée ne suffit pas à répondre aux besoins du site :



Graphique VII-1 Consommation d'énergie pour le scénario "raccordement réseau"

Dans ce scénario, l'énergie électrique à acheter est de 2.9 [MWh], alors que l'énergie revendue au réseau est de 37.5 [MWh].

Le tableau suivant montre les coûts de l'énergie annuels dans ce cas :

Utilisation directe	42.8	MWh
Energie manquante	2.9	MWh
Surplus	37.5	MWh
Coût de rachat [32]	60	CHF/MWh
Prix de l'électricité [32]	150	CHF/MWh
Energie vendue	2250	CHF/an
Energie achetée	435	CHF/an
Cout électricité	-1815	CHF/an
Coût chaleur (Bois)	10513	CHF/an
Coût énergie finale	8698	CHF/an

Le coût annuel de l'énergie dans ce cas est de 8700 CHF/an, soit 2000 CHF d'économisés chaque année.

b. Analyse financière

Les tableau suivants montrent l'investissement généré par les moyens de production d'énergie :

Tableau VII-2 Estimation de l'investissement scénario "autarcie"

	Nb	Prix unitaire	Tarif	Entretien	
Description	-	CHF/-	CHF		CHF/an
Installation PV[36]*	60000	2000 CHF/kW	120000	0.03	3600
Tesla Powerpack[36]*	400	500 CHF/kWh	200000	0.03	6000
Electrolyseur 60kW [33]	60	2000 CHF/kW	120000	0.03	3600
Stockage gaz H2+O2 [33]	825	200 CHF/Nm3	165000	0.01	1650
Pile à Combustible 20 kW[34]	20	3140 CHF/kW	62800	0.03	1884
Chaudière bois [35]*	1	24100	24100	0.03	723
Système stockage bois [35]*	1	10000	10000	0.03	300
*Solaire thermique **	75	2000	150000	0.03	4500
			851 900		22 257

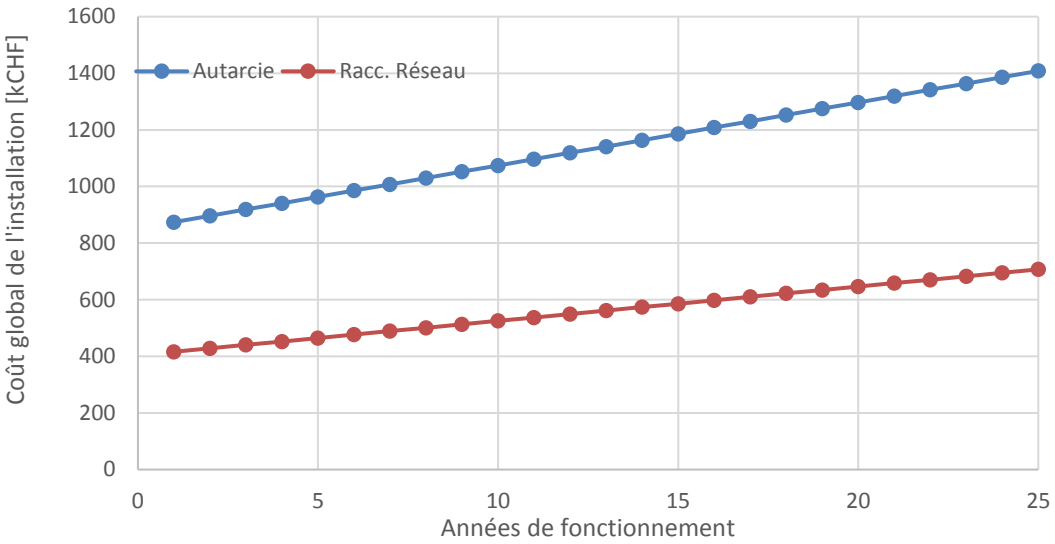
**Chaudière bois VIESSMANN 60kW et silo de stockage, tarifs publics de 2017*

*** Tarif de la pré-étude de 2000 CHF/m2*

Tableau VII-3 Estimation de l'investissement du scénario "raccordement réseau"

	Nb	Prix unitaire	Tarif	Entretien	
Description	-	CHF/-	CHF		CHF/an
Installation PV	60000	2	120000	0.03	3600
Tesla Powerpack x2 (420kWh)	200	500	100000	0.03	3000
Chaudière bois	24100	1	24100	0.03	723
Système stockage	10000	1	10000	0.03	300
Solaire thermique	75	2000	150000	0.03	4500
TOTAL			404 100		12 123

Le graphique suivant montre l'évolution en coût global des deux variantes sur 25 ans, durée de vie moyenne des installations de production d'énergie :



Graphique VII-2 Comparaison des coûts des deux variantes

La variante « autarcie » reste la plus chère dans le temps si le prix de l'énergie électrique reste tel qu'il est actuellement. De plus, la durée de vie des appareils de stockage du power to gas sont méconnues et très probablement plus courte que 25 ans. Cela peut accuenter cet écart de coût entre les deux variantes.

De plus, il est bon de noter que les tarifs de l'électricité annoncés sont des tarifs pour de l'électricité provenant à 100% de sources d'énergies renouvelables, d'après le distributeur (ESR).

ATTENTION : Les tarifs annoncés ne proviennent pas d'une offre mais de différentes sources (voir bibliographie). Une attention particulière doit être laissée à l'interprétation des résultats obtenus notamment au niveau de l'investissement.

VIII. Conclusion

Avec la victoire en mai 2017 de la stratégie énergétique 2050 en Suisse, et le choix de la population de sortir du nucléaire, la transition énergétique est plus que jamais d'actualité. La production d'électricité décentralisée et l'autoconsommation semble être au cœur de cette transition, et le centre de developpement durable d'Ayent souhaite aller encore plus loin en visant l'autarcie électrique, la coupure complète du réseau électrique.

Les technologies de stockage ne cessent de se développer avec l'apparition de nouveaux moyens innovants. Le power-to-gas en fait partie, la technologie commence à émerger et des exemples concrets voient le jour. Toutefois, le faible rendement de cette technologie, et les énormes coûts liés à l'investissement de cette solution peuvent freiner les décideurs dans leur volonté de mettre en place un tel système. Avec sa volonté d'innover et de montrer l'exemple, le CDDA est le genre de projet pour lequel cette solution convient parfaitement. Avec un bilan carbone nul lors de l'exploitation, la technologie permet de stocker l'énergie de manière saisonnière sans détériorer le système.

Toutefois, la problématique qui intervient avec un site « offgrid » est le surplus d'électricité produite en été. Cela représente une quantité significative de l'énergie produite, qui ne peut être stockée par manque de capacité. Elle doit donc être utilisée directement, à moins d'être gaspillée, ce qui va à l'encontre de la vision du centre et de la stratégie énergétique. Le transport représente un gisement de consommation modulable important et sera d'une importance crutiale pour gérer ces surproductions estivales.

Le fait d'être en autarcie énergétique peut donc aussi aller contre les principes du centre si l'énergie est gaspillée en été alors que les voisins directes du site peuvent en avoir besoin. Ils seront alors contraints d'acheter de l'électricité sur le réseau, qui proviendra peut être de centrales à charbon ou nucléaires européennes. De plus, le système de power to gas risque d'être utilisé uniquement lors des longues périodes sans ensoleillement, donc quelques semaines par an, pour un investissement énorme. Ainsi, un compromis doit être réalisé entre la volonté d'avoir un impact environnement nul, et la réalité économique.

La volonté de montrer l'exemple et d'innover ne doit pas être remise en cause, mais il faut se rendre compte que l'autarcie totale n'est pas dans tous les cas la solution qui répond parfaitement aux enjeux du développement durable.

À Sion

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

IX. Bibliographie

[1] Société suisse des ingénieurs et des architectes. SIA 2024 : Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment. 2015.

[2] M. Pierre André Seppey. Professeur à la HES-SO Valais Wallis. Entretien courant juillet 2017.

[3] SUNTAG. Etude d'ensoleillement réalisée en ligne en août 2017 pour la commune d'Arbaz.

http://suntag.ch/

[4] SUISSE EOLE. Etude de la vitesse du vent à 50m de hauteur pour la commune d'Arbaz, réalisée en ligne en Juillet 2017

http://wind-data.ch/windkarte/

[5] M. Samuel Chevallier. Professeur HES-SO Valais Wallis. Cours « Nouvelles énergies renouvelables, Eoliennes ». 2016

[6] Véronique Loretan. L'eau dans la contrés d'Ayent : Eau d'irrigation et gestion de l'eau potable. 1999.

[7] ECOREN. France. Consultation en Août 2017

http://www.ecoren.fr/cogeneration-biomasse.php

[8] OKOFEN. France. Consultation en Août 2017.

http://www.okofen-e.com/en/pellematic_e_max/

[9] Energie+. Belgique. Consultation en Août 2017. Rubrique Technique>Le chauffage>Le chauffage à eau chaude>Les chaudières Bois énergie

https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16644

[10] Energie+. Belgique. Consultation en Août 2017. Rubrique Technique>Le chauffage>Le chauffage par pompe à chaleur>Les pompes à chaleur

https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=15563#

[11] Géothermie-Suisse. Suisse. Consultation Juillet 2017. Rubrique Géothermie>Aperçu général

http://geothermie-schweiz.ch/geothermie/geothermie-uebersicht/?lang=fr

[12] Canton du Valais. Suisse. Qualité des eaux souterraines. Consultation Juillet 2017

https://sitonline.vs.ch/environnement/eaux_souterraines/fr/

[13] Canton du Valais. Suisse. Admissibilité des forages géothermiques. Consultation Juillet 2017

https://sitonline.vs.ch/environnement/sonde_geothermique/fr/

[14] Commission de régulation de l'énergie (CRE). France. Rubrique Dossiers>Le stockage. Consultation en Août 2017.

http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=stockage

[15] Méziane Boudellal. Le Power to Gas : Stockage d'électricité renouvelable. Edition Dunod, 2016

[16] Fondation ALCEN pour la connaissance des énergies. Hydroélectricité : stations de transfert d'énergie par pompage (STEP). Paru le 3 janvier 2013. Consultation en Août 2017

Rapport-Gratuit.com

https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/hydroelectricite-stations-de-transfert-d-energie-par-pompage-step

[17] Fondation ALCEN pour la connaissance des énergies. Volant d'inertie. Paru le 25 mars 2015. Consultation en Août 2017

https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/volant-dinertie

[18] Fondation ALCEN pour la connaissance des énergies. CAES, Stockage par air comprimé. Paru le 2 décembre 2013. Consultation en Août 2017

https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/caes-stockage-par-air-comprime

[19] Energie+. Belgique. Consultation en Août 2017. Rubrique Théories>Le chauffage>Le rendement d'une installation de chauffage central

https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10988%20-%20c5063+c5064#c5064

[20] Energie+. Belgique. Consultation en Août 2017. Rubrique

Concevoir>L'eau chaude sanitaire>Choisir les équipements>Choisir un préchauffage par capteurs thermiques>Prédimensionner l'installation ECS

https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16745

[21] SwissHydrogen. Suisse. Entretien téléphonique avec Mme Rachel Debros en Juillet 2017

[22] Gaia Green. France. Rubrique Produits>ReQup-Floor

http://gaiagreen.net/requp-floor/

[23] Energie+. Belgique. Consultation en Août 2017. Rubrique Evaluer>La climatisation>Evaluer l'efficacité de la production frigorifique

https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11022#c2864

[24] Outil Excel. Réalisé courant Juillet 2017. Disponible en annexe électronique

[25] Energie+. Belgique. Consultation en Août 2017. Rubrique Théorie>Le chauffage>Le bois énergie

https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16643#c20220+c20227+c20218

[26] PELLETPREIS. Suisse. Chiffres du 1er Août 2017. Consultation en Aout 2017.

http://www.pelletpreis.ch/fr

[27] M. Remy Dufresne. Chimiste à la HES-SO Valais Wallis. Cours « Nouvelles énergies renouvelables, la méthanisation ». 2016

[28] LIMPIDUS. Belgique. Notion Equivalent Habitant

http://www.limpidus.be/reglementation/equivalent-habitant/

[29] Eco-sapiens. Sabine Rabourdin. Epurez vous-même vos eaux usées grâce aux plantes. 2006

https://www.eco-sapiens.com/dossier-72-Epurez-vous-meme-vos-eaux-usees-grace-aux-plantes.html

[30] Eautarcie. Joseph Orszagh. La gestion durable de l'eau dans le monde. Site complet.

http://www.eautarcie.org/index-fr.html

[31] Confédération Suisse. Agrométéo. Données météorologique pour la commune d'Uvrier. Consultation en Juillet 2017.

http://www.agrometeo.ch/fr/meteorology/datas

[32] ESR. Suisse. Tarif simple de 2017. Consulté en aout 2017

www.esr.ch

[33] E&E consultant, Hepsul, Solagro. Septembre 2014. Etude portant sur l'hydrogène et la méthanation comme procédé de valorisation de l'électricité excédentaire. Voir annexes, Scénario « actuel ». Document disponible en annexe électronique, ou:

[34] Battelle Memorial Institute. Manufacturing Cost Analysis of 100 and 250 kW Fuel Cell Systems for Primary Power and Combined Heat and Power Applications. USA. 2016. Page 130. Document disponible en annexe électronique, ou : (consulté en aout 2017)

https://energy.gov/sites/prod/files/2016/07/f33/fcto_battelle_mfg_cost_analysis_pp_chp_fc_systems.pdf

[35] VIESSMANN. Suisse. Liste de prix 2017. Consulté en Août 2017

https://www.viessmann.ch/content/dam/vi-brands/CH/Preisliste_listedeprix/FR/2017_08/Register_08_Bois_Preisliste_2017_CHFR.pdf/_jcr_content/renditions/original./Register_08_Bois_Preisliste_2017_CHFR.pdf

[36] Entretien avec les professeurs M. Nicolas Jordan et M. Pierre-Olivier Moix. HES-SO Valais Wallis. Tarifs selon leurs retours d'expérience.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

X. Annexe

1. Résumé du rapport sur l'ensoleillement à Arbaz 62
2. Etude du potentiel éolien 63
3. Caractéristiques chaudière bois Froling T4 64
4. Extrait du rapport de simulation solaire thermique Polysun 65
5. Rapport simulation solaire photovoltaïque PVSyst 67
6. Tesla Powerpack 68
7. Power to gaz - Areva GreenergyBox 69

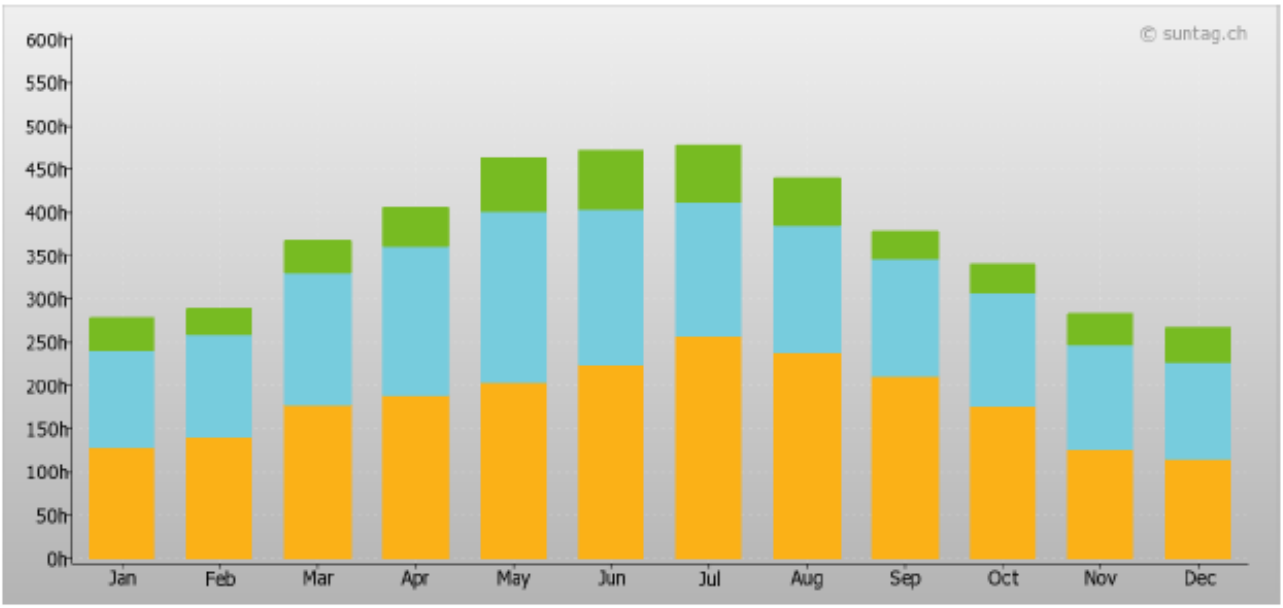
1. Résumé du rapport sur l'ensoleillement à Arbaz

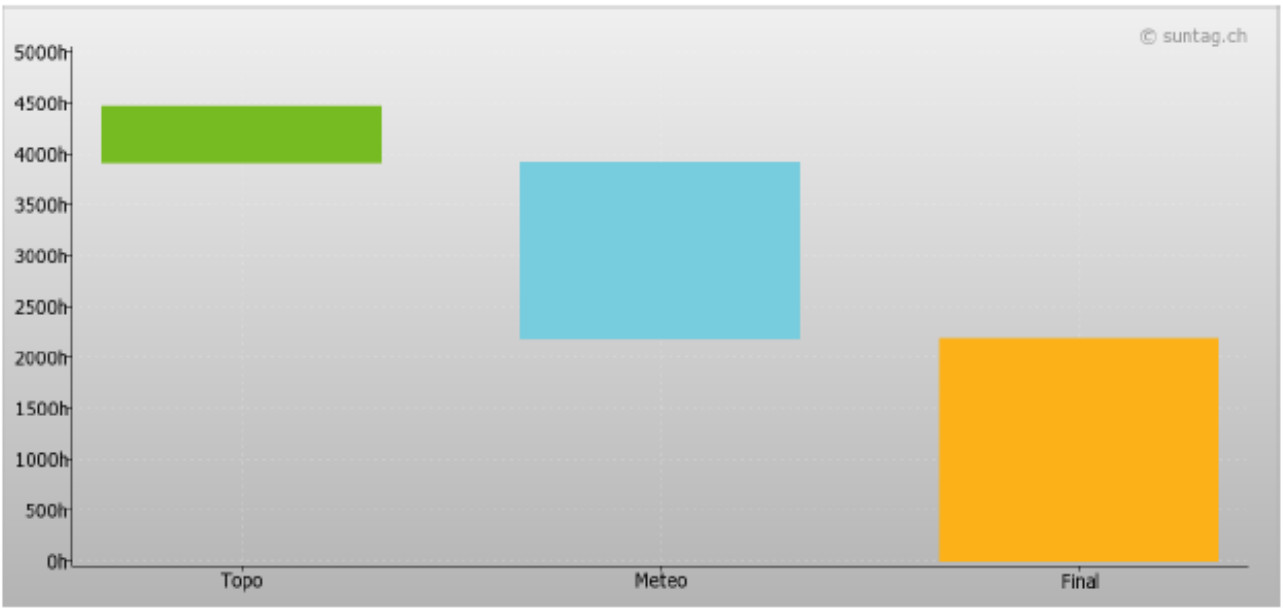
SUNTAG

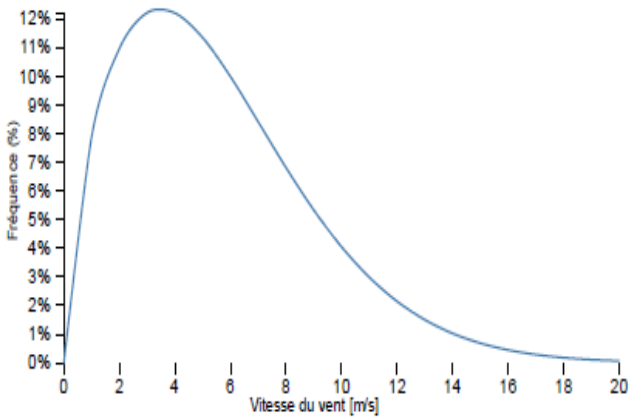
arbaz (595559;124483;1124)

Influence de la météorologie

La barre verte représente le nombre d'heures d'ensoleillement annuel (mensuel) perdues à cause de la topographie (-544h). La barre bleue représente le nombre d'heures d'ensoleillement annuel (mensuel) perdues (statistiquement) à cause de la météorologie dans cette région (-1736h). La barre jaune représente le nombre d'heures d'ensoleillement annuel (mensuel) final si l'on considère à la fois la topographie et la météorologie (2182h).





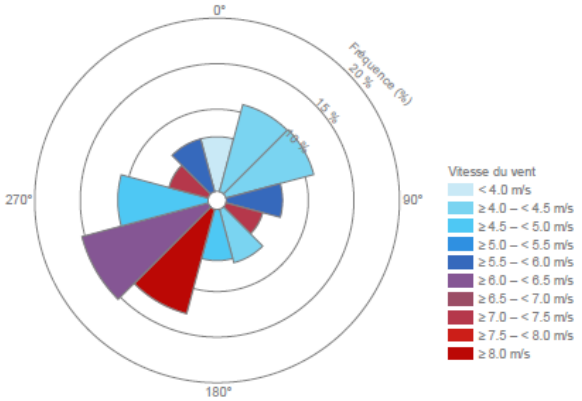


Vitesse (m/s)	Fréquence (%)
0 m/s	0.0 %
1 m/s	7.9 %
2 m/s	11.0 %
3 m/s	12.2 %
4 m/s	12.2 %
5 m/s	11.3 %
6 m/s	10.0 %
7 m/s	8.4 %
8 m/s	6.8 %
9 m/s	5.3 %
10 m/s	4.0 %
11 m/s	3.0 %
12 m/s	2.1 %
13 m/s	1.5 %
14 m/s	1.0 %
15 m/s	0.7 %
16 m/s	0.4 %
17 m/s	0.3 %
18 m/s	0.2 %
19 m/s	0.1 %
20 m/s	0.1 %
Summe	99.0 %

Atlas des vents de la Suisse: moyenne annuelle modélisée de la vitesse et de la direction du vent à 50 m du sol (Office fédéral de l'énergie)

Hauteur au-dessus du niveau du sol	50 m
Coordonnées (X / Y)	2596600, 1125200
Altitude	1194 m s.m.
Vitesse moyenne du vent	5.6 m/s

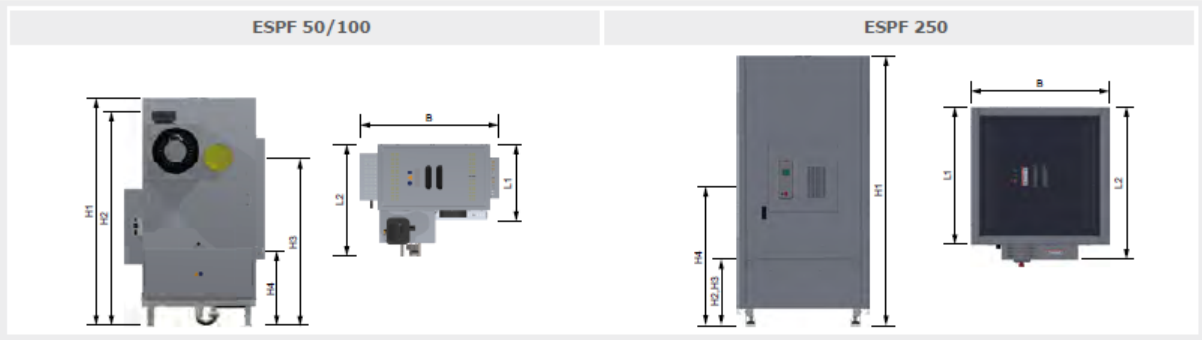
Rose des vents avec distribution de la vitesse du vent en fonction de la direction du vent
La rose des vents illustre la distribution de la vitesse du vent en fonction de la direction du vent. En déplaçant la souris sur la rose des vents, vous pouvez faire apparaître les valeurs exactes du secteur concerné.



Direction du vent	Fréquence (%)	Vitesse moyenne	A	k
total	100 %	5.6 m/s	6.2 m/s	1.6
345° - 15°	6 %	3.7 m/s	4.2 m/s	1.6
15° - 45°	10 %	4.3 m/s	4.8 m/s	2.0
45° - 75°	10 %	4.2 m/s	4.8 m/s	2.1
75° - 105°	6 %	5.5 m/s	6.2 m/s	1.6
105° - 135°	4 %	7.4 m/s	8.3 m/s	1.6
135° - 165°	6 %	4.5 m/s	5.0 m/s	1.7
165° - 195°	5 %	4.8 m/s	5.4 m/s	1.7
195° - 225°	12 %	8.1 m/s	9.1 m/s	1.6
225° - 255°	15 %	6.1 m/s	6.9 m/s	1.9
255° - 285°	10 %	4.9 m/s	5.6 m/s	2.2
285° - 315°	4 %	7.1 m/s	7.8 m/s	1.5
315° - 345°	6 %	5.9 m/s	6.5 m/s	1.4

Distribution de Weibull, indépendante de la direction du vent
Le vent est soumis à de constantes variations de vitesse. Pour la planification d'installations éoliennes, on a ainsi recourt à une distribution statistique des vitesses du vent appelée «distribution de Weibull».

3. Caractéristiques chaudière bois Froling T4



Dimensions - dépoussiéreur électrostatique		ESPF 50[1] (T4 24-50)	ESPF 100[1] (T4 60-110)	ESPF 250 (T4 130-150)
H1 Hauteur du filtre	[mm]	1480 - 1750	1480 - 1885	1890
H2 Hauteur du raccord de cheminée	[mm]	1395 - 1665	1435 - 1840	470
H3 Hauteur arrivée de fumée	[mm]	1090 - 1360	1090 - 1495	470
H4 Hauteur du raccord d'eau chaude sanitaire	[mm]	490 - 760	510 - 915	950
B Largeur du filtre	[mm]	900	900	900
L1 Longueur du filtre	[mm]	500	715	900
L2 Longueur du filtre avec composants	[mm]	725	960	1045
Branchement électrique		230 V/50 Hz / protégé par fusible 13 A		
Puissance électrique	[W]	30 - 40	70	150
Raccord ECS	[pouce]	1/2	1/2	1/2
Pression minimale raccord ECS	[bar]	3	3	2
Hauteur du raccord eaux usées		DN40	DN40	DN40
Rendement[2] (niveau de séparation)	[%]	60 - 85		

1) Pour s'adapter au type de chaudière, les dépoussiéreurs électrostatiques ESPF 50 et ESPF 100 sont réglables en hauteur. Les indications de hauteur correspondent à la plage de réglage.
2) Le niveau de séparation effectif dépend du combustible utilisé et de la teneur en poussière de la fumée.

Caractéristiques techniques - T4		24	30	40	50	60	75
Puissance calorifique nominale	[kW]	24	30	40	50	60	75
Plage de puissance calorifique	[kW]	7,2-24	9-30	12-40	15-50	18-60	22,5-75
Label énergétique*		A+	A+	A+	A+	A+	A+
Rendement de la chaudière (Bois déchiqueté charge nominale / charge partielle)	[%]	92,3 / 91,6	91,0 / 91,6	92,1 / 92,4	93,1 / 93,2	93,1 / 93,3	93,0 / 93,6
Rendement de la chaudière (Granulés charge nominale / charge partielle)	[%]	92,2 / 91,0	92,0 / 91,4	93,1 / 92,3	94,2 / 93,2	94,1 / 93,5	93,9 / 93,9
Branchement électrique		400V / 50Hz / protégé par fusible C16A					
Consommation électrique (granulés / bois déchiqueté)	[W]	74 / 115	84 / 142	86 / 150	88 / 158	102 / 176	122 / 204
Poids de la chaudière (avec l'unité de chargement, sans eau)	[kg]	620	640	840	860	1060	1080
Capacité en eau de la chaudière	[l]	105	105	160	160	220	220
Résistance hydraulique (ΔT = 10/20K)	[mbar]	3,9 / 1,2	4,8 / 1,4	5,2 / 1,8	5,5 / 2,2	7,8 / 2,6	11,4 / 3,2
Temp. chaudière maxi réglable	[°C]	90					
Pression de service admise	[bar]	3					
Diamètre du conduit de fumée	[mm]	150	150	150	150	180	180

*Indice d'efficacité énergétique (chaudière + régulation)

4. Extrait du rapport de simulation solaire thermique Polysun

Rapport professionnel

Chaudière	à pellets 60kW	
Puissance	kW	60
Efficacité totale	%	77.2
Energie du/au système [Qaux]	kWh	37'784
Consommation de l'énergie électrique et du combustible [Eaux]	kWh	48'913
Consommation de combustible de la chaudière d'appoint [Baux]	kg	9'783
Economies énergétiques solaires thermqiues	kWh	51'544
Economies solaires thermiques CO2	kg	2'598
Economies solaires thermiques de combustible	kg	10'309
Pertes gaz d'échappement [Qex]	kWh	8'804
Besoin en eau chaude	**Pics de consommation journalière**	
Volume du prélèvement/consommation journalière	l/d	4'000
Température nominale	°C	60
Besoin énergétique [Qdem]	kWh	89'743
Echangeur thermique externe	**petit**	
Capacité de transmission	W/K	5'000
Pompe Circuit de transfert	**Eco, petite**	
Perte de charge du circuit	bar	0.608
Débit	l/h	1'012
Consommation de l'énergie électrique et du combustible [Epar]	kWh	12.6
Pompe Circuit solaire	**Eco, petite**	
Perte de charge du circuit	bar	1.942
Débit	l/h	1'012
Consommation de l'énergie électrique et du combustible [Epar]	kWh	12.6
Réservoir Réservoir avec volume stand-by	**ELB 2000R2**	
Volume	l	2'000
Hauteur	m	1.7
Matériau		Acier de qualité supérieure
Isolation		PU rigide
Epaisseur isolation	mm	80
Pertes thermiques [Qhl]	kWh	825
Pertes aux raccords	kWh	136

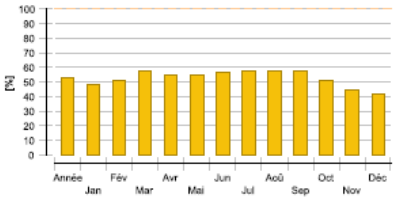
Vela Solaris AG, ses fournisseurs et ses distributeurs déclinent toute responsabilité quant à l'exactitude des données et des résultats.

Rapport professionnel

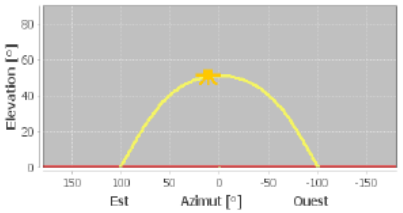
Vue d'ensemble solaire thermique (valeurs annuelles)

Surface capteurs	75 m²
Taux solaire total	52.8%
Rendement total champ capteurs	42'265.8 kWh
Rendement champ capteurs par superficie brute	563.5 kWh/m²/Année
Rendement champ capteurs par superficie ouverture	626.2 kWh/m²/Année
Economie maximale de combustible	10'308.7 kg: [Pellets]
Economie maximale d'énergie	51'543.7 kWh
Réduction maximale d'émission de CO2	2'597.8 kg

Taux solaire: taux d'énergie solaire au système [SFn]



Ligne d'horizon



Données météo-Vue d'ensemble

Température extérieure moyenne	7.1 °C
Rayonnement global, total annuel	1'221 kWh/m²
Rayonnement diffus, total annuel	565 kWh/m²

Vue d'ensemble des composants (valeurs annuelles)

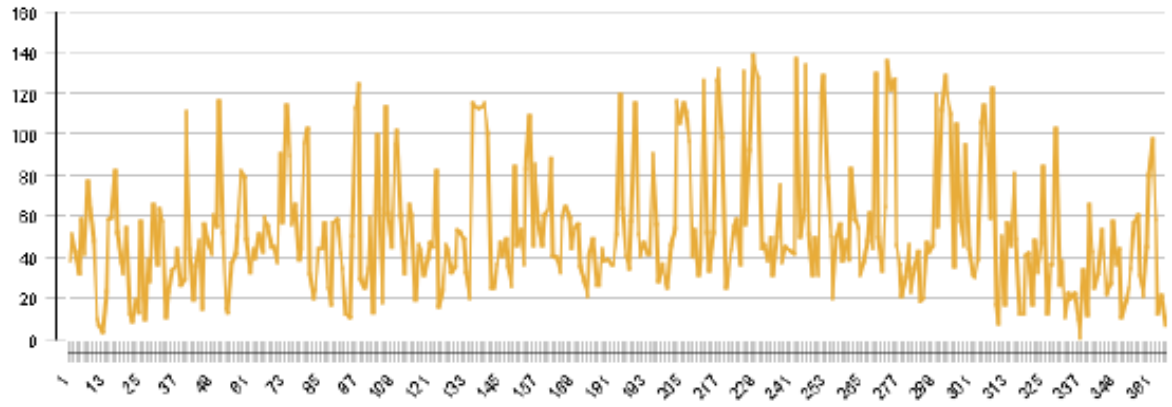
Capteur	plan, bon	
Source des données		SPF
Nombre de capteurs		37.5
Sections parallèles		4
Surface totale brute	m²	75
Surface d'ouverture totale	m²	67.5
Surface absorbeur totale	m²	67.5
Inclinaison (horiz.=0°, vert.=90°)	°	60
Orientation (E=+90°, S=0°, O=-90°)	°	0
Rendement champ capteurs [Qsol]	kWh	42'266
Rayonnement sur le plan des capteurs [Esol]	kWh	94'763
Efficacité du capteur [Qsol / Esol]	%	44.6
Rayonnement direct en considérant IAM	kWh	53'665
Rayonnement diffus en considérant IAM	kWh	35'745

Rapport professionnel

	Année	janv.	févr.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
Energie solaire thermique au système [Qsol]													
kWh	42266	3281	3259	4281	3818	3811	3785	3882	3785	3671	3334	2699	2659
Energie des générateurs thermiques au système (énergie solaire thermique exclue) [Qaux]													
kWh	37784	3504	3151	3144	3113	3194	2922	2859	2820	2733	3221	3399	3724
Consommation de l'énergie électrique et du combustible des générateurs thermiques [Eaux]													
kWh	48913	4503	4059	4077	4028	4139	3800	3730	3684	3570	4173	4373	4776
Taux solaire: taux d'énergie solaire au système [SFn]													
%	52.8	48.4	50.8	57.7	55.1	54.4	56.4	57.6	57.3	57.3	50.9	44.3	41.7
Consommation totale d'énergie électrique et/ou combustible du système [Etot]													
kWh	48938	4505	4061	4080	4031	4142	3803	3732	3686	3572	4175	4375	4777
Rayonnement sur le plan des capteurs [Esol]													
kWh	94763	6801	7266	9375	8735	8505	8007	8893	9003	8569	7950	6168	5491
Energie électrique des pompes [Epar]													
kWh	25.1	1.7	1.9	2.4	2.2	2.4	2.5	2.5	2.4	2.2	1.9	1.5	1.4
Consommation énergétique total [Quse]													
kWh	78528	6584	6321	7294	6830	6875	6554	6583	6448	6255	6408	6062	6314
Perte de chaleur à l'intérieur (compris les pertes des générateurs thermiques) [Qint]													
kWh	3761	280	267	319	303	323	332	348	350	340	332	288	279
Perte de chaleur dans l'environnement extérieur (sans pertes du capteur) [Qext]													
kWh	110	10	10	12	10	8	8	8	8	10	9	9	8

Capteur

Température maximale journalière [°C]



V9.2.7.24227 / 10.08.2017 / 14:12:21

polysun

Vela Solaris AG, ses fournisseurs et ses distributeurs déclinent toute responsabilité quant à l'exactitude des données et des résultats.

5. Rapport simulation solaire photovoltaïque PVSyst

PVSYST V6.63		26/07/17	Page 1/3

Système isolé avec batteries: Paramètres de simulation

Projet : CDDA_PV_BATTERIE

Site géographique Ayent Pays Suisse

Situation Latitude 46.28° N Longitude 7.41° E
Temps défini comme Temps légal Fus. horaire TU+1 Altitude 978 m
Albédo 0.20

Données météo: Ayent MeteoNorm file - Synthétique

Variante de simulation : CDDA_CHARGE_60kW
Date de la simulation 02/07/17 à 12h36 (version 6.62)

Paramètres de simulation

Orientation plan capteurs Inclinaison 60° Azimut 0°

Modèles utilisés Transposition Perez Diffus Perez, Meteonorm

Caractéristiques du champ de capteurs
Module PV Si-poly Modèle **Poly 250 Wp 60 cells**
Original PVsyst database Fabricant Generic
Nombre de modules PV En série 14 modules En parallèle 19 chaînes
Nombre total de modules PV Nbre modules 266 Puissance unitaire 250 Wc
Puissance globale du champ Nominale (STC) **66.5 kWc** Aux cond. de fonct. 59.5 kWc (50°C)
Caractéristiques de fonct. du champ (50°C) U mpp 382 V I mpp 156 A
Surface totale Surface modules **433 m²** Surface cellule 388 m²

Facteurs de perte du champ PV
Fact. de pertes thermiques Uc (const) 20.0 W/m²K Uv (vent) 0.0 W/m²K / m/s
Perte ohmique de câblage Rés. globale champ 42 mOhm Frac. pertes 1.5 % aux STC
Perte diode série Chute de tension 0.7 V Frac. pertes 0.2 % aux STC
Perte de qualité module Frac. pertes -0.8 %
Perte de "mismatch" modules Frac. pertes 1.0 % au MPP
Effet d'incidence, paramétrisation ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Param. bo 0.05

Paramètres du système Type de système **Système isolé avec batteries**

Batterie Modèle **Solar 12V / 160 Ah**
Fabricant Generic
Caractéristiques du banc de batteries Tension 180 V Capacité nominale 25600 Ah
Nombre d'unités 15 en série x 160 en parallèle
Température Fixée (20°C)

Controller Modèle Universal controller with MPPT converter
Technologie MPPT converteCoeff. de temp. -5.0 mV/°C/elem.

Convertisseur Efficacité maxi et EURO 97.0/95.0 %

Battery management control Treshold commands as SOC calculation
Charge SOC = 0.92 / 0.75 i.e. approx. 195.2 / 185.8 V
Décharge SOC = 0.20 / 0.45 i.e. approx. 174.9 / 181.0 V

Besoins de l'utilisateur : Définition ext. par fichier CDDA_LOAD.csv

PVSYST V6.63		26/07/17	Page 2/3

Système isolé avec batteries: Résultats principaux

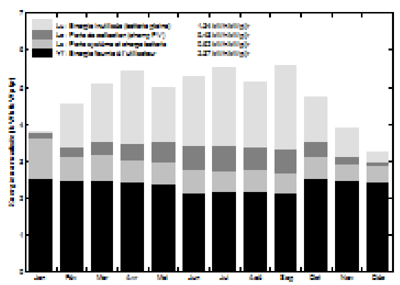
Projet : CDDA_PV_BATTERIE

Variante de simulation : CDDA_CHARGE_60kW

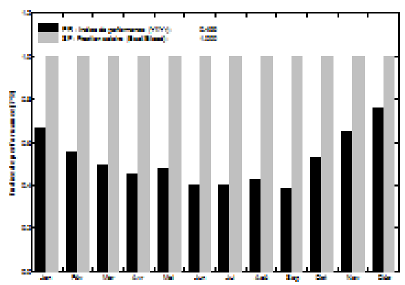
Principaux paramètres système Type de système **Isolé avec batteries**
Orientation plan capteurs inclinaison 60° azimut 0°
Modules PV Modèle Poly 250 Wp 60 cells Pnom 250 Wc
Champ PV Nombre de modules 266 Pnom total **66.5 kWc**
Batterie Modèle Solar 12V / 160 Ah Technologie cellée, Gel
batteries Nombre d'unités 2400 Tension / Capacité **180 V / 25600 Ah**
Besoins de l'utilisateur Définition ext. par fichier CDDA_LOAD.csv global 57.5 MWh/an

Principaux résultats de la simulation
Production du système **Energie disponible 99.91 MWh/an** Productible 1502 kWh/kWc/an
Energie utilisée 57.54 MWh/an En excès (inutilisée) 32.53 MWh/an
Indice de performance (PR) 49.86 % Fraction solaire (SF) 100.00 %
Besoins non satisfaits Fraction du temps 0.0 % Energie manquante 0.00 MWh/an

Productions normalisées (par kWp installé): Puissance nominale 66.5 kWc



Indice de performance (PR) et Fraction solaire (SF)



CDDA_CHARGE_60kW
Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E Avail MWh	EUnused MWh	E Miss MWh	E User MWh	E Load MWh	SolFrac
Janvier	51.7	114.8	6.842	0.000	0.000	5.166	5.166	1.000
Février	66.4	124.4	7.578	2.126	0.000	4.609	4.609	1.000
Mars	115.2	153.1	9.199	3.098	0.000	5.171	5.171	1.000
Avril	137.9	137.6	8.488	3.888	0.000	4.873	4.873	1.000
Mai	163.7	147.7	8.843	2.952	0.000	4.884	4.884	1.000
Juin	206.0	151.7	8.813	3.676	0.000	4.256	4.256	1.000
Juillet	210.4	163.7	9.211	4.369	0.000	4.529	4.529	1.000
Août	167.1	153.4	8.885	3.576	0.000	4.521	4.521	1.000
Septembre	133.5	163.3	9.443	4.483	0.000	4.252	4.252	1.000
Octobre	91.8	143.5	8.449	2.476	0.000	5.166	5.166	1.000
Novembre	56.6	114.5	6.883	1.466	0.000	5.000	5.000	1.000
Décembre	41.5	88.8	6.045	0.489	0.000	5.044	5.044	1.000
Année	1481.8	1666.0	99.910	32.539	0.000	57.537	57.537	1.000

Légendes:
GlobHor Irradiation globale horizontale
GlobEff Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages
E Avail Energie solaire disponible
EUnused Energie inutilisée (batterie chargée)
E Miss Energie manquante
E User Energie fournie à l'utilisateur
E Load Besoin d'énergie de l'utilisateur
SolFrac Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)

6. Tesla Powerpack

Spécifications générales du système

Tension CA	De 380 à 480 V, Triphasé	Capacité énergétique	210 kWh (C.A) par Powerpack
Communications	Modbus TCP/IP; DNP3	Température de fonctionnement	-22°F à 122°F / -30°C à 50°C
Puissance	50kW (C.A) par Powerpack	Boitier	Pods: IP67 Powerpack: IP35/NEMA 3R Inverter: IP66/NEMA 4
Puissance d'onduleur évolutive	de 50kVA à 625kVA (à 480V)	Efficacité système (C.A) *	88% aller-retour (système 2 heures) 89% aller-retour (système 4 heures)
Profondeur de décharge	100 %	Certifications	Certifications nationales conformes aux législations internationales en matière de sécurité, de CEM, de réseaux et de respect de l'environnement.
Dimensions	**Powerpack** Longueur : 1,308 mm (51.5") Largeur : 822 mm (32.4") Hauteur : 2,185 mm (86") Poids : 1622 kg (3575 lbs) **Onduleur industriel** Longueur : 1,014 mm (39.9") Largeur : 1254 mm (49.4") Hauteur : 2192 mm (86.3") Poids : 1200 kg (2650 lbs)		

* Énergie nette délivrée à une température ambiante de 25 °C incluant le rendement lié au contrôle de la température

Rapport-Gratuit.com

7. Power to gaz - Areva GreenergyBox

Greenergy Box™

Technical data

PERFORMANCE	**Maximum charge power**	75 kW @ 15 Nm^3/h
	Discharge power range	20 to 100 kW* > scalable up to 5 systems in parallel
	Input/Output voltage	400 V tri +N / 50 Hz
	Round-trip efficiency **Electrical efficiency**	75-80 % (heat included) 30-35 %
PHYSICAL (for a 100 kW unit - without gas storage)	**Dimensions**	L: 6.1 m; W: 2.4 m; H: 2.6 m (L: 20'; W: 7'11"; W: 8'6")
	Footprint	14.6 m^2 / 157 sf
	Weight	6 t / 13,000 pounds
ENVIRONMENTAL IMPACT	**Greenhouse gas emissions**	None
SAFETY	**Compliance**	CE certified
OPERATION	**Operating temperature**	From –30 °C to +50 °C / –22 °F to +122 °F
	Ambient air	Independent of air quality: sea salt, sand, dust, humidity
	Altitude	Performance independent of altitude
	Location	Indoor / outdoor
MONITORING / CONTROL	**Remote control**	System configuration and status Historical and operational data - optional
	Communications	Front panel display Ethernet and dry contact
OPTIONS	**Hydrogen production**	Maximum flow 15 Nm^3/h @ 35 bar / 600 SCFH @ 500 psi
	Heat recovery	Charge mode: 9 kW_{th} @ 60 °C Discharge mode: 115 kW_{th} @ 70 °C

** Cos ψ = 0.95 at nominal power*

AREVA
forward-looking energy

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

8. Power to gas – systèmes Swisshydrogen

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES