
« Nous avons l'expérience de l'avenir »

3'21'036

Construction d'un établissement Médico-Social La Résidence Grande-Fontaine Route de l'infirmierie, 17-19 1880 BEX

Concept énergétique et physique du bâtiment Rapport d'avant-projet



01.11.2021

V1

**Paul Gillet
Paul Bourdoukan**

Table des matières

Table des matières	2
Liste des figures	3
Liste des tableaux.....	3
1. Introduction	4
2. Ensoleillement	4
3. Exigences Cantonales et Minergie-P-ECO.....	5
3.1 Exigences Légales	5
3.2 Directive pour l'efficacité énergétiques pour les bâtiments de l'Etat VD	5
3.3 Exigences de Minergie-P	5
3.4 Exigences de Minergie-ECO	6
4. Concept architectural	7
4.1 Concept général.....	7
4.2 Composition de l'enveloppe	8
4.3 Bilan thermique	9
5. Confort thermique estival.....	10
5.1 Zone étudiée	10
5.2 Hypothèses de calcul	11
5.2.1 Charges thermiques internes	11
5.3 Contrôle du climat intérieur.....	12
5.3.1 Impact des protections solaires et de la ventilation naturelle	12
6. Concept d'approvisionnement énergétique	13
6.1 Ressources énergétiques.....	13
6.2 Variantes d'approvisionnement	13
6.3 Besoins énergétiques	15
6.3.1 Flux énergétiques.....	15
6.3.2 Besoins totaux d'électricité	16
6.3.3 Besoins annuels de chaleur et d'électricité	16
6.3.4 Coûts de l'énergie.....	17
6.3.5 Impact environnemental.....	18
6.4 Approche en coût global.....	19
6.4.1 Retour sur investissement	19
6.4.2 Complément d'investissement lié à une installation de refroidissement	20
6.5 Conclusion sur l'approvisionnement	20
7. Dimensionnement du local de stockage de pellets.....	21
8. Prédimensionnement de champs de sondes géothermiques	21
8.1 Hypothèses.....	21
8.2 Résultats	22

Liste des figures

Figure 1 : Plan du quartier	4
Figure 2 : Besoins en chauffage pour un bâtiment Minergie.....	5
Figure 3 : Repérage lumière du jour.....	6
Figure 4 : Tableau composition enveloppe.....	8
Figure 5 : Bilan thermique du bâtiment conforme aux exigences de Minergie P	9
Figure 6 : Répartitions des pertes par transmission de l'enveloppe	9
Figure 7: Plans de repérage de la pièce étudiée	10
Figure 8 : Model 3D de la pièce étudiée	10
Figure 9 : Admissibilité indicative des sondes géothermiques	13
Figure 10 : Nombres de sondes sur la commune de Bex.....	13
Figure 11: Besoins électriques des variantes.....	16
Figure 12: Besoins annuels de chaleur et d'électricité.....	16
Figure 13: Coût de l'énergie annuel hors maintenance	17
Figure 14 : Emissions de gaz à effet de serre sur 20 ans	18
Figure 15 : Coût global des variantes d'approvisionnement sur 20 ans	19
Figure 16 : Production énergétique du champ de sondes - 50ème année	22
Figure 17 : Température du fluide dans circuit hydraulique.....	22

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de l'occupation.....	11
Tableau 2 : Caractéristiques de l'éclairage artificiel	11
Tableau 3 : Taux de charge des équipements électriques.....	11
Tableau 4: Variantes d'approvisionnement.....	14
Tableau 5 : Hypothèses performances des installations	14
Tableau 6 : Surfaces de référence énergétique par affectation.....	15
Tableau 7 : Besoin électricité et ECS par affectation.....	15
Tableau 8: Tableau récapitulatif des besoins de chauffage et d'ECS ainsi que la surface minimale de PV	15
Tableau 9: Récapitulatif des besoins énergétiques.....	15
Tableau 10: Tableau de synthèse de comparaison	17
Tableau 11 : Hypothèses émissions de gaz à effet de serre	18
Tableau 12 : Coûts annuel d'exploitation (énergie + maintenance) et d'investissement des différentes variantes.....	19
Tableau 13 : Retour sur investissement des variantes par rapport à la variante 1	19
Tableau 14 : Dimensionnement du stockage de pellets	21

1. Introduction

Le projet consiste en la réalisation d'un établissement médico-social de 2 niveaux sur la commune de Bex dans le canton de Vaud.

L'objectif de ce rapport est de présenter le concept énergétique afin de répondre aux exigences du label Minergie P. Les résultats d'études concernant les besoins de chaleur pour le chauffage et l'ECS, l'enveloppe thermique et l'approvisionnement énergétique pour la phase avant-projet seront présentés.

Le bâtiment est situé dans un quartier résidentiel arboré excentré du centre-ville. Il est constitué au rez-de-chaussée de locaux de soins, bureaux, espace restauration et les niveaux 1 et 2 sont composés essentiellement de chambres et d'espaces de séjour pour les résidents. Après concertation avec la direction de l'énergie du canton de Vaud, les différentes affectations au sens de la norme SIA 380/1 pour ce bâtiment sont restauration et administration au niveau rez-de-chaussée et habitat collectif au niveau 1 et 2.



Figure 1 : Plan du quartier

2. Ensoleillement

Pour évaluer l'impact du soleil sur le bâtiment, il a été dessiné tel que le voit le soleil (l'observateur est à la place du soleil). Ce type de tracé est appelé un héliodon. Ce mode de tracé permet une vision globale de l'impact du soleil et est plus explicite qu'un diagramme solaire ou qu'un tracé d'ombre.

Afin d'étudier l'impact qu'aura le soleil sur les façades tout au long de l'année, le tracé est effectué pour les jours suivants :

- • Le 21 décembre (hiver)
- • Le 21 mars (mi-saison)
- • Le 21 juin (été)

Ce rapport d'ensoleillement est présenté en annexe.

3. Exigences Cantonales et Minergie-P-ECO

3.1 Exigences Légales

Le canton de Vaud impose une enveloppe qui réponde aux exigences de la norme SIA 380/1. Il impose aussi que 30% des besoins énergétiques pour l'ECS soient assurés par du solaire thermique ou des énergies renouvelables et que 20% de la consommation électrique du bâtiment soit couverte par des panneaux photovoltaïques.

3.2 Directive pour l'efficacité énergétiques pour les bâtiments de l'Etat VD

Cette directive du 7 juin 2017 concerne les bâtiments de l'Etat ou les bâtiments majoritairement subventionnés par ce dernier. Elle permet d'atteindre les perspectives d'une société à 2000 Watts à l'horizon 2050. Suivant cette directive les bâtiments doivent atteindre le standard Minergie-P ECO ou une performance équivalente. Cette équivalence est définie dans l'annexe 1 de la directive :

- Labélisation SMEO
- CECB
- Exigence Minergie P ECO sans ventilation
 - Enveloppe conforme à Minergie P (exigence primaire)
 - Exigence sur l'indice thermique de prescription énergétique des canton MOPEC (enveloppe et production)
 - Exigence sur l'écologie de la construction selon le standard Minergie P ECO
 - Energie grise
 - Matériaux écologiques
 - Lumière naturelle
 - Qualité de l'air etc.

L'exigence la moins contraignante pour le maître d'ouvrage est Minergie P ECO sans ventilation. Celle-ci est donc préconisée.

3.3 Exigences de Minergie-P

Le label **Minergie-P** désigne des constructions à très basse consommation d'énergie qui se distingue par une excellente enveloppe du bâtiment et donc un confort accru.

Les besoins de chaleur pour le chauffage Q_h (standard) calculés selon la norme SIA 380/1:2016 ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes en pourcentage des valeurs limites pour les nouvelles constructions $Q_{h,li}$ figurant dans le MoPEC 2014, et ce pour l'ensemble des catégories de bâtiments:

	Nouvelles constructions
Minergie	100%
Minergie-P	70%*

Figure 2 : Besoins en chauffage pour un bâtiment Minergie

(Source : Règlement des labels Minergie Version 2021.1)

Pour Minergie aucune source d'origine fossile n'est admise pour la production principale.

De plus, Minergie impose une production photovoltaïque de 10 W/m². Cependant, pour les bâtiments de plus de 3'000 m² de SRE, il n'est pas demandé de produire plus de 30 kWp par bâtiment ou objet certifié, sauf si cela est nécessaire pour atteindre l'indice Minergie MKZ.

Les autres exigences sont les suivantes :

- Autoproduction de courant
- Etanchéité de l'enveloppe
- Monitoring énergétique
- Mobilité électrique

3.4 Exigences de Minergie-ECO

Minergie-ECO regroupe un ensemble de critères attribués au mandataire qui en a la responsabilité.

Les critères d'exclusions listés ci-dessous doivent obligatoirement être respectés pour atteindre le label Minergie-ECO.

- Polluants dans les bâtiments
- Protection chimique du bois dans les locaux
- Biocides et produits de protection du bois dans les locaux
- Emissions de formaldéhyde provenant de matériaux de construction
- Emissions de solvant provenant de matériaux de construction et d'adjuvants
- Travaux de pose et d'étanchéification
- Éléments de construction contenant des métaux lourds et exposés aux intempéries (matériaux de couverture, de façade et de raccord)
- Matériaux contenant du plomb
- Choix du bois
- Recyclage (RC) – béton
- Mesures (dosages) dans l'air intérieur : formaldéhyde
- Mesures (dosages) dans l'air intérieur : TVOC

Les autres critères (disponible en suivant l'URL <https://www.minergie.ch/fr/certifier/eco/>) ne sont pas obligatoires mais il est nécessaire d'en respecter au minimum 50%. Ces critères sont regroupés dans différentes catégories :

- Énergie grise
- Protection contre le bruit
- Climat intérieur
- Concept du bâtiment
- Matériaux et processus de construction
- Lumière du jour

Il est également nécessaire de respecter au minimum 3 catégories listées ci-dessus.

Pour notre projet, il faudra être vigilant au critère « lumière du jour ». Le repérage ci-dessous montre les locaux critiques (rouges) pour lesquels le degré de lumière naturelle est à améliorer.



Figure 3 : Repérage lumière du jour

4. Concept architectural

4.1 Concept général

Conception

La façade d'un EMS doit être conçue pour assurer le confort hivernal et éviter la surchauffe estivale. La conception de bâtiments sur-isolés permet de le rendre confortable en hiver mais leur comportement estival est souvent mal étudié, provoquant des surchauffes évitables. D'autant plus que les personnes âgées sont très sensibles à ce phénomène.

Il est donc primordial de concevoir un EMS qui minimisent les surchauffes estivales.

Ainsi, les fonctions de la façade du bâtiment doivent être les suivantes :

- Eclairage naturel suffisant ;
- Ventiler naturellement lorsque la température extérieure est plus faible qu'à l'intérieur ;
- Protéger contre les rayonnements solaires et les surchauffes sans obstruer la ventilation naturelle ;
- Obscurcir la pièce sans obstruer la ventilation naturelle.

La **norme SIA 180 2014** couvre de manière complète les conditions à remplir pour assurer une protection thermique en été.

Principe d'inertie

L'inertie d'une zone a des répercussions sur l'évolution des conditions de températures. Un plancher en béton par exemple sera plus à même d'emmagasiner de la chaleur qu'un faux-plancher technique. Une zone ayant une part importante d'éléments lourds en contact direct avec l'air de la pièce présentera une inertie importante. Cela se traduit par un déphasage de température de la pièce par rapport à l'extérieur. A l'inverse, une zone avec beaucoup d'éléments légers (cloisons légères, faux-plancher, faux-plafond) verra sa température évoluer rapidement, car la chaleur ne se stockera pas ou trop peu dans les murs.

Les éléments d'enveloppe de la zone étudiée sont présentés ci-dessous :

- Les murs extérieurs à ossature bois possèdent une très faible inertie.
- La dalle est un plancher mixte, permettant le stockage de chaleur dans la couche de béton.

Cette zone a dans l'ensemble une faible inertie moyenne à faible, ce qui favorise les montées en température et donc les surchauffes.

4.2 Composition de l'enveloppe

L'enveloppe thermique a été développée dans le but de minimiser les besoins énergétiques grâce à une isolation performante afin de respecter les exigences de Minergie-P. Le plan de repérage est fourni en annexe.

Liste des éléments		La Résidence Grande-Fontaine				SORANE SA	
Désignation de l'élément		Composition	Epaisseur [m]	Valeur α [W/m².K]	Valeur λ [W/m.K]	Valeur R [m².K/W]	Valeur U [W/m².K]
1	Toiture		0,640			9,82	0,10
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Dalle mixte bois-béton	0,36	-	-	-	
		swissporLAMBDA Roof	0,28	-	0,029	9,66	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
2	Toiture terrasse		0,360			6,17	0,16
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Béton armé	0,20	-	2,500	0,08	
		XPS Premium Plus	0,16	-	0,027	5,93	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
3	Façade contre extérieur patio		0,490			6,07	0,16
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Béton armé	0,25	-	2,500	0,10	
		Isolation laine minérale	0,18	-	0,032	5,63	
		Lame d'air	0,06	-	0,328	0,18	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
4	Façade contre terre isolé extérieur		0,380			5,35	0,19
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Béton armé	0,20	-	2,500	0,08	
		XPS	0,18	-	0,035	5,14	
		Terrain	-	0	-	0,00	
5	Façade contre terre isolé intérieur		0,460			7,75	0,13
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Isolation PB M 032	0,240	-	0,032	7,50	
		Béton armé	0,22	-	2,500	0,09	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
5	Façade contre extérieur					8,73	0,11
	Section 1		0,360			10,73	
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Isolation Isoconfort	0,040	-	0,039	1,03	
		Panneau OSB contreventement	-	-	-	-	
		Isolation type isoverPC M 032 larg. 600mm ép.	0,260	-	0,032	8,13	
		Châsis BLC sect. 80x260mm e=660mm larg.	-	-	-	-	
		Isolation flumrocDisso	0,06	-	0,040	1,50	
		Lé Coupe-vent	-	-	-	-	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
	Section 2		0,360			4,18	
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Isolation Isoconfort	0,040	-	0,039	1,03	
		Panneau OSB contreventement	-	-	-	-	
		Bois de construction	0,260	-	0,18	1,44	
		Châsis BLC sect. 80x260mm e=660mm larg.	-	-	-	-	
		Isolation flumrocDisso	0,06	-	0,040	1,50	
		Lé Coupe-vent	-	-	-	-	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
6	Façade contre extérieur sous-sol		0,460			7,75	0,13
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Isolation PB M 032	0,240	-	0,032	7,50	
		Béton armé	0,22	-	2,500	0,09	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
7	Caisson de store		0,063			2,05	0,49
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		BLC	0,002	-	0,15	-	
		PB M 32	0,06	-	0,032	1,88	
		BLC	0,00	-	0,150	0,01	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
8	Plancher contre extérieur		0,500			6,89	0,15
		Intérieur	-	8	-	0,13	
		Chape ciment	0,080	-	1,2	0,07	
		EPS-T (accoustique)	0,020	-	0,039	0,51	
		EPS 30	0,020	-	0,033	0,61	
		Béton armé	0,200	-	2,500	0,08	
		Laine Minérale	0,180	-	0,033	5,45	
		Extérieur	-	25	-	0,04	
11	Vitrage	Type		t [-]	g [-]	Valeur U (k) [W/m².K]	
	Verre	Triple		0,70	0,48	0,50	
	Huisserie					1,30	

Figure 4 : Tableau composition enveloppe

Remarques importantes

- Le caisson de store ne respecte pas la SIA 180. Une valeur $U < 0,4 \text{ W/m}^2.\text{K}$ est nécessaire.
- Un vitrage très performant ($U = 0,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $g=0,48$) ou équivalent ($U = 0,6 \text{ W/m}^2.\text{K}$, $g=0,6$ donc épais) est nécessaire afin de respecter l'exigence primaire de l'enveloppe.

4.3 Bilan thermique

Le bilan thermique selon la norme 380/1 a été réalisé. L'enveloppe thermique développée permet de répondre aux exigences de Minergie P comme l'illustre la figure suivante.

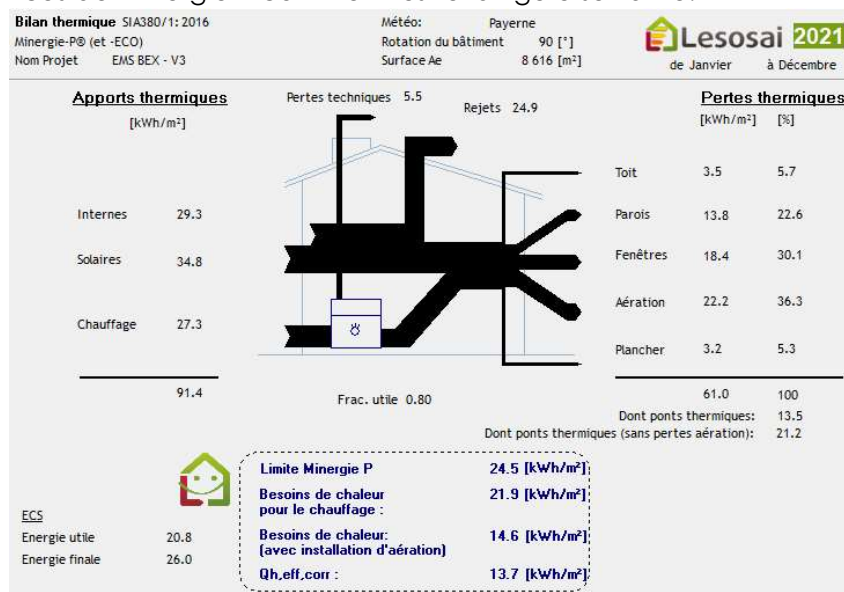


Figure 5 : Bilan thermique du bâtiment conforme aux exigences de Minergie P

Les besoins de chaleur pour le chauffage du bâtiment à ce stade du projet sont de 21.9 kWh/m².an soit une marge de 10% par rapport à la limite Minergie P.

La figure ci-dessous illustre la répartition des pertes par transmission de l'enveloppe thermique :

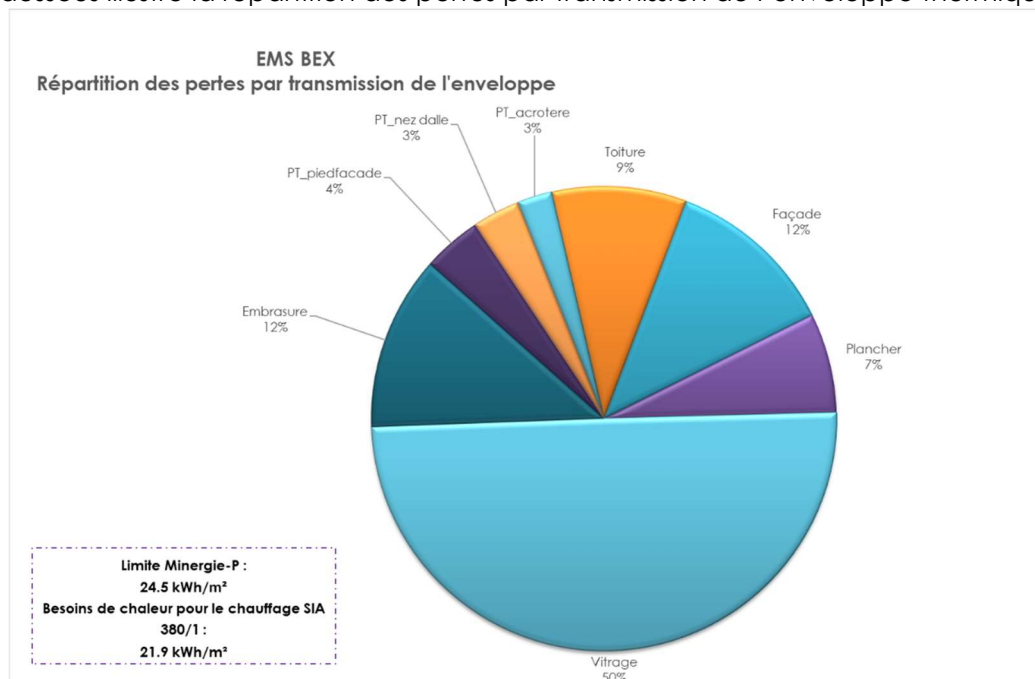


Figure 6 : Répartitions des pertes par transmission de l'enveloppe

Nous constatons que les fenêtres et leurs embrasures sont responsables de la majorité des déperditions du bâtiment.

5. Confort thermique estival

Le but est d'étudier les niveaux de température pendant la période estivale dans une zone type « chambre » qui est susceptible de présenter une surchauffe.

La ventilation naturelle est ici le seul moyen de gestion de la température l'été sans recourir à un refroidissement actif. Cette étude permettra d'analyser si le confort estival par la ventilation naturelle est assuré.

Des simulations thermiques dynamiques, du comportement d'une chambre ont été réalisés. Le but est d'analyser le confort thermique pendant la période estivale ainsi que l'incidence des paramètres.

5.1 Zone étudiée

La zone étudiée est repérée en bleu sur le plan de niveau ci-dessous :

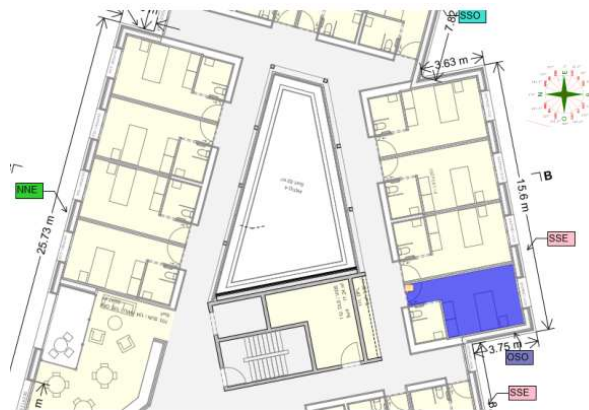


Figure 7: Plans de repérage de la pièce étudiée

Cette zone est une chambre située au premier niveau du bâtiment et orientée Sud-Sud-Est. La pièce a été défini comme critique par rapport à son orientation, elle sert comme point de référence pour le confort estival.

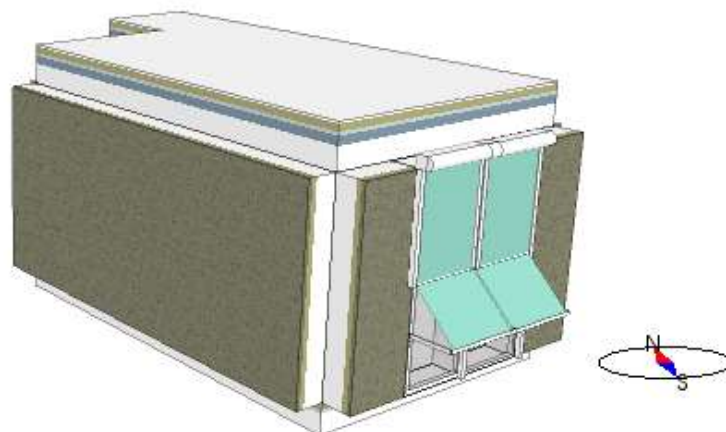


Figure 8 : Model 3D de la pièce étudiée

5.2 Hypothèses de calcul

5.2.1 Charges thermiques internes

5.2.1.1 Chaleur dégagée par les personnes

Le nombre de personnes dépend de la surface de plancher de la zone simulée et des données réelles d'occupation. La norme SIA 2024 considère 15 m² / personne. Le profil d'occupation appliqué est le suivant :

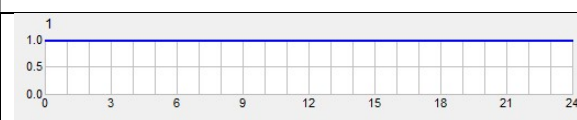
Zone	Nombre de personnes	Horaires d'occupation	Profil horaire d'occupation
Chambre	1	Lundi au dimanche 24/24h	

Tableau 1 : Caractéristiques de l'occupation

5.2.1.2 Chaleur dégagée par l'éclairage artificiel

Les luminaires sont allumés lorsque l'éclairage naturel de la zone est inférieur à la consigne, pendant la présence des occupants. Issues de la norme SIA2024, la puissance spécifique des luminaires et la consigne d'éclairement considérées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Zone	Puissance [W/m ²]	Consigne [Lux]
Chambre	4.5	200

Tableau 2 : Caractéristiques de l'éclairage artificiel

5.2.1.3 Chaleur dégagée par les équipements

Le dégagement de chaleur sensible des appareils pris en compte est celui donné par la norme SIA 2024.

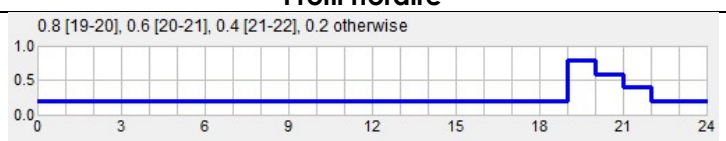
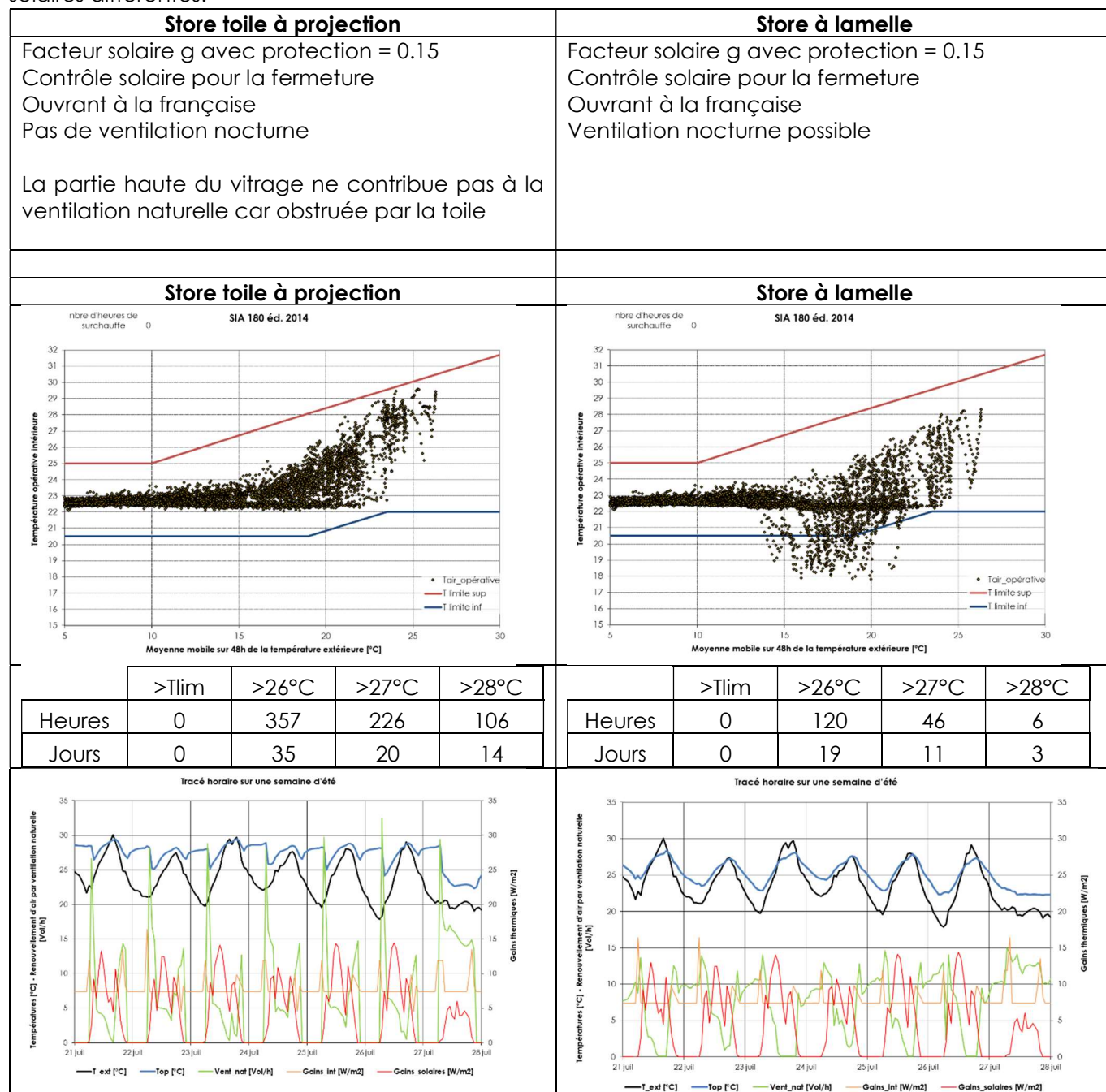
Zone	Puissance [W/m ²]	Profil horaire
Chambre	4	

Tableau 3 : Taux de charge des équipements électriques

5.3 Contrôle du climat intérieur

5.3.1 Impact des protections solaires et de la ventilation naturelle

L'objectif de cette étude est d'observer le comportement thermique de l'ambiance avec des protections solaires différentes.



Le confort thermique au sens de la SIA 180 est respecté dans les deux cas cependant nous constatons que dans le cas des stores toiles, même si on respecte les critères de confort l'ambiance est plutôt chaude avec 106 h au-dessus de 28°C tandis que la mise en œuvre des stores à lamelles seulement 6 h sont au-dessus de 26°C. Nous recommandons la mise en œuvre de stores à lamelles.

6. Concept d'approvisionnement énergétique

Le but de cette partie est d'étudier différentes variantes d'approvisionnement énergétique pour l'ouvrage. Les besoins de chaleur pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire (ECS) du bâtiment sont estimés dans l'objectif de répondre aux exigences du label Minergie P.

Les solutions d'approvisionnement permettant de répondre aux besoins énergétiques tout en respectant les exigences de Minergie sont ensuite évaluées, du point de vue énergétique, économique et environnemental.

6.1 Ressources énergétiques

- Bois
- Géothermie
- Aérothermie
- Solaire PV
- Solaire thermique

6.2 Variantes d'approvisionnement

En prenant en compte les exigences (légales et Minergie) citées ci-dessus et les sources énergétiques à disposition, les approvisionnements possibles sont les suivantes :

- Chaudière bois : Le secteur concerné ne se situe pas dans une zone à immissions excessives. Il n'y a donc pas d'exigences particulières à respecter.
- PAC sur air (air/eau)
- PAC sur sondes (eau/eau) : Le cadastre du canton de Vaud concernant l'admissibilité indicative des sondes géothermiques est en cours d'élaboration dans le secteur de Bex.

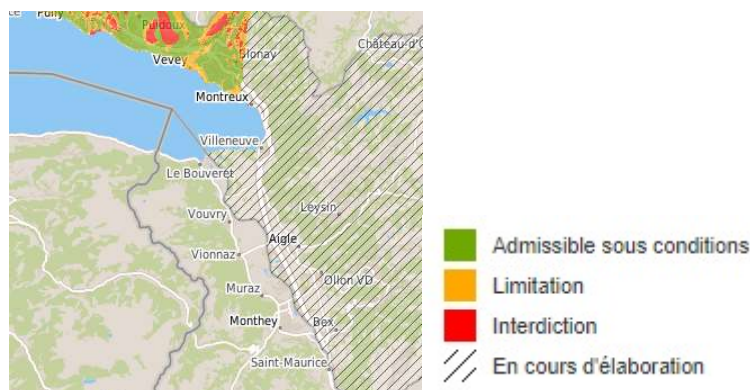


Figure 9 : Admissibilité indicative des sondes géothermiques

Cependant, des sondes géothermiques sont déjà présentes autour de site, ce qui montre l'admissibilité de telles sondes.

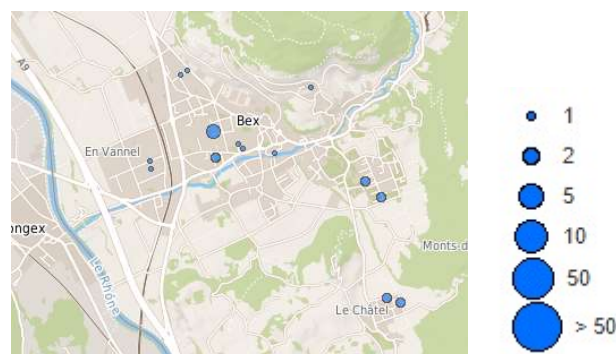


Figure 10 : Nombres de sondes sur la commune de Bex

Les capteurs photovoltaïques sont obligatoires au sens légal et pour Minergie, ainsi pour chaque variante d'approvisionnement le PV est systématiquement considéré.

Les capteurs solaires thermiques permettent d'assurer une fraction importante d'eau chaude sanitaire sur l'année et permettent une quasi-autonomie durant l'été. A ce titre des variantes complémentaires sont étudiées où 30% de la couverture des besoins ECS annuels sont assurés par des capteurs solaires thermiques.

Les variantes d'approvisionnement sont les suivantes :

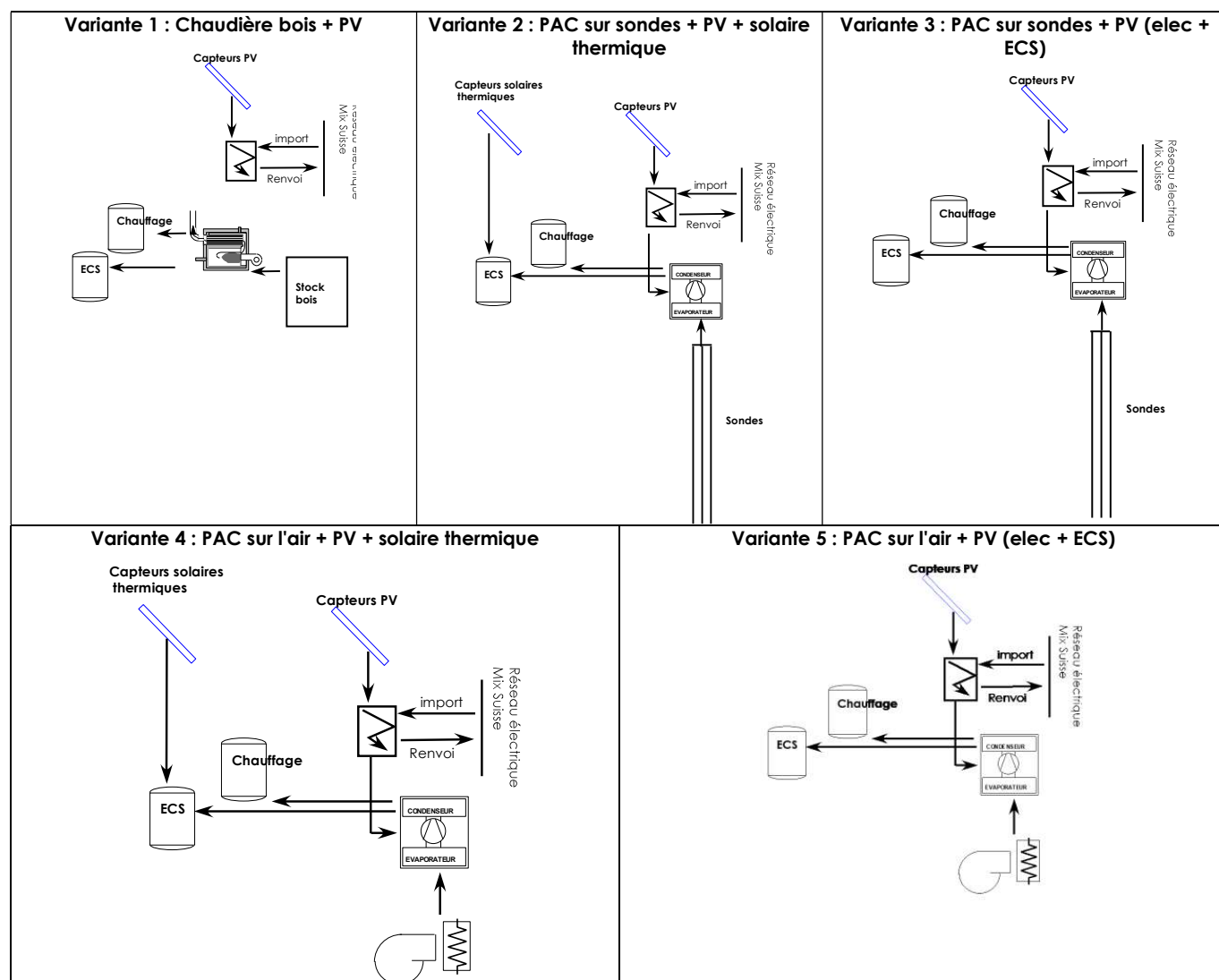


Tableau 4: Variantes d'approvisionnement

Les hypothèses prises sur la performance des systèmes sont données dans les tableaux ci-dessous :

apport net par m2 absorbeurs solaire kWh/m2	400	5,5	COP chauffage PAC sur sonde	3,1
			COP ECS PAC sur sonde	2,7
			COP chauffage PAC sur air	2,3
			COP ECS PAC sur air	2,3
surface PV m2/kWp				

Tableau 5 : Hypothèses performances des installations

6.3 Besoins énergétiques

Surfaces de références énergétiques du bâtiment par affectation :

Affectation	SRE (m ²)
Habitat collectif	5 568
Administration	2 208
Restauration	840

Tableau 6 : Surfaces de référence énergétique par affectation

Pour effectuer le calcul des besoins énergétiques, les valeurs pour l'électricité et l'ECS ont été déterminé à partir de la norme SIA 380/1 et sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Besoins électricité	Besoins ECS
	MJ/m ²	
Habitat collectif	100	75
Administration	80	25
Restauration	120	202

Tableau 7 : Besoin électricité et ECS par affectation

Le tableau ci-dessous résume l'estimation des besoins de chaleur pour le bâtiment, ainsi que les besoins minimaux en termes de solaire photovoltaïque.

Besoins de chaleur pour le chauffage	Besoins de chaleur pour ECS	Exigence minimale Minergie PV	Elec à compenser	Compensation PV elec	ECS à compenser	Compensation PV ECS	Compensation PV totale	Compensation solaire th. (surface absorbteurs)
kWh	kWh	kWp	kWh	kWp	kWh	kWp	kWp	m ²
188 268	178 496	30	46 193	55	53 549	63	118	134

Tableau 8: Tableau récapitulatif des besoins de chauffage et d'ECS ainsi que la surface minimale de PV

La valeur « Exigence minimale Minergie PV » est calculé pour une couverture photovoltaïque de 10W/m². Cependant, le bâtiment fait plus de 3000 m², l'exigence PV Minergie est cantonné à 30 kWp.

Le canton de Vaud exige que 20 % de la consommation électrique du bâtiment soit produite par des panneaux photovoltaïques. La puissance de panneaux photovoltaïques à mettre en place est donc de 45 kWp permettant de compenser 38 459 kWh de consommation électrique.

6.3.1 Flux énergétiques

Les tableaux ci-dessous récapitulent les flux énergétiques mis en jeu pour les différentes variantes :

	Besoins chaleur chauffage+ECS	Production solaire thermique	Besoins chaleur restant chauffage+ECS	Besoins électricité hors chauffage	Besoins électricité chauffage	Besoins électricité total
	kWhth/an	kWhth/an	kWhth/an	kWhelec/an	kWhelec/an	kWhelec/an
Variante 1 : Chaudière bois + PV	366 764	0	366 764	230 963	0	230 963
Variante 2 : PAC sur sondes + PV + solaire thermique	366 764	53 549	313 215	230 963	107 008	337 971
Variante 3 : PAC sur sondes + PV (elec + ECS)	366 764	0	366 764	230 963	126 841	357 804
Variante 4 : PAC sur l'air + PV + solaire thermique	366 764	53 549	313 215	230 963	136 181	367 143
Variante 5 : PAC sur l'air + PV (elec + ECS)	366 764	0	366 764	230 963	159 463	390 425

	Puissance PV installée	Production électricité PV	Surface PV installée	Part autoconsommée	Import réseau Mix Suisse	Surface capteurs thermiques	Qté d'émissions de gaz à effet de serre	Electricité PV autoconsommée	Electricité renvoyée au réseau
	kWp	kWhelec/an	m ²	%	kWhelec/an	m ²	tonnes eq CO2/an	kWhelec/an	kWhelec/an
Variante 1 : Chaudière bois + PV	55	49 500	303	90.6%	186 116	0	36.9	44 847	4 653
Variante 2 : PAC sur sondes + PV + solaire thermique	55	49 500	303	95.0%	290 946	134	34.4	47 025	2 475
Variante 3 : PAC sur sondes + PV (elec + ECS)	118	106 200	649	73.9%	279 322	0	37.1	78 482	27 718
Variante 4 : PAC sur l'air + PV + solaire thermique	55	49 500	303	95.6%	319 821	134	37.4	47 322	2 178
Variante 5 : PAC sur l'air + PV (elec + ECS)	118	106 200	649	75.9%	309 819	0	40.2	80 606	25 594

Tableau 9: Récapitulatif des besoins énergétiques

Les besoins de chaleur du bâtiment pour le chauffage et l'ECS s'élèvent à 366 764 kWh/an.

6.3.2 Besoins totaux d'électricité

La figure ci-dessous donne les besoins totaux d'électricité ainsi que la part produite par les capteurs PV, la part autoconsommée, la part renvoyée sur le réseau et celle importée du réseau :

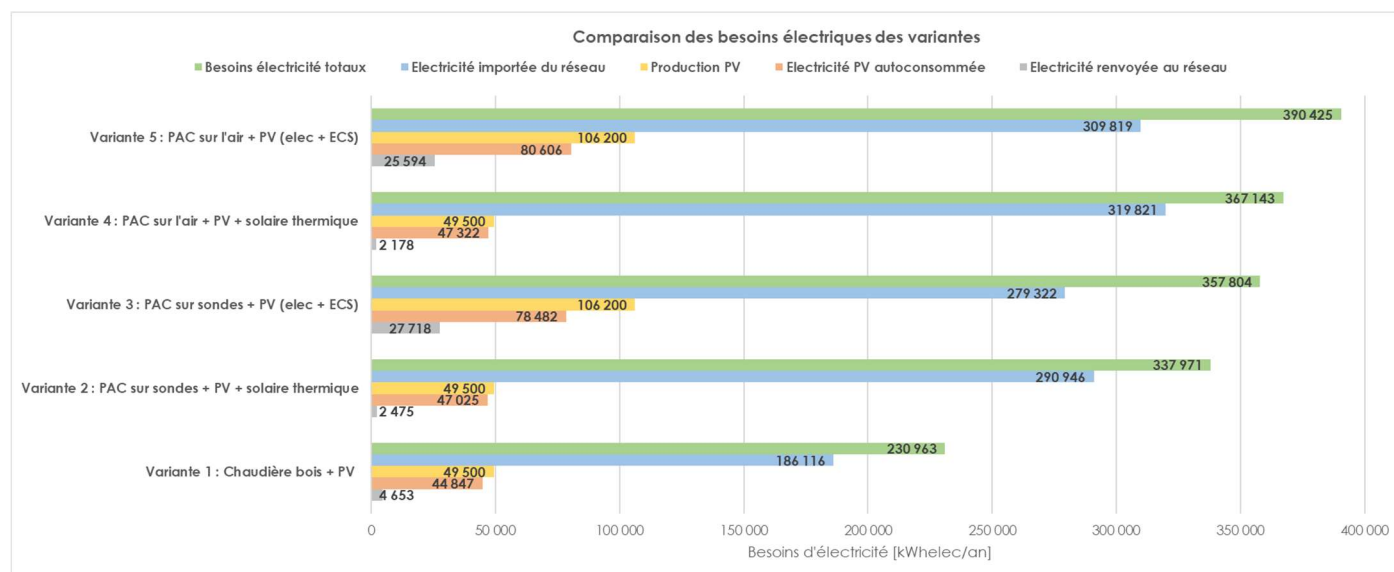


Figure 11: Besoins électriques des variantes

6.3.3 Besoins annuels de chaleur et d'électricité

La figure suivante illustre la quantité d'énergie (thermique et/ou électrique) qui sera finalement à acheter pour chaque variante.

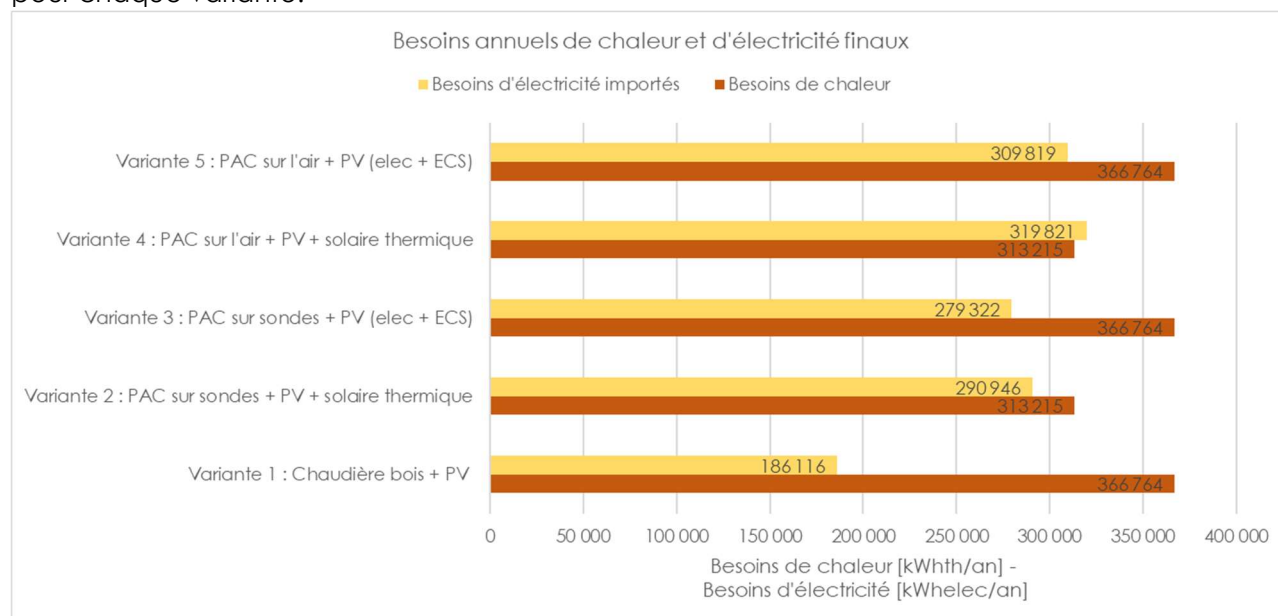


Figure 12: Besoins annuels de chaleur et d'électricité

6.3.4 Coûts de l'énergie

La figure suivante montre les coûts annuels énergétiques hors maintenance. Il est à noter que les coûts de l'énergie ne sont qu'estimatifs et non contractuels. Ils sont établis à titre de comparaison des variantes. Pour l'étude, nous avons considéré les coûts suivants :

- Bois : 0.05 CHF/kWh
- Electricité achetée : 0,2 CHF/kWh
- Electricité vendue : 0,08 CHF/kWh

Les coûts représentés ci-dessous sont ceux pour une année et hors maintenance.

Les consommations et les coûts liés aux équipements auxiliaires (éclairage, ventilation) n'ont pas été pris en compte dans cette étude. La variation d'une solution à l'autre dépend donc uniquement de la performance des systèmes et du coût de l'énergie qui lui est associé.

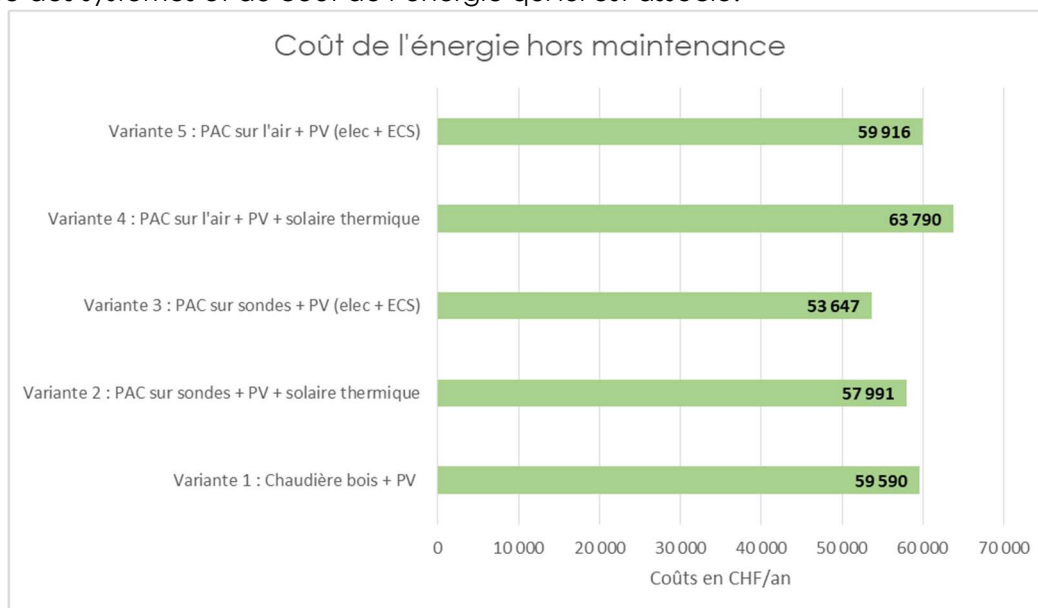


Figure 13: Coût de l'énergie annuel hors maintenance

Les solutions PAC sur sondes sont les moins coûteuses, du fait d'un COP élevé. La variante 1 (Chaudière bois + PV) se situe entre les deux solutions de pompe à chaleur.

Pour chaque technologie de pompe à chaleur, la solution PV (elec + ECS) engendre une surface plus importante de panneaux PV donc une revente de l'électricité plus importante, ce qui explique la différence sur le coût de l'énergie annuel.

	Besoins chaleur restant chauffage+ECS	Puissance PV installée	Surface PV installée	Import réseau Mix Suisse	Surface capteurs thermiques	Qté d'émissions de gaz à effet de serre	Coûts de l'énergie
	kWh/an	kWp	m²	kWhelec/an	m²	tonnes eq CO2/an	CHF/an
Variante 1 : Chaudière bois + PV	366 764	55	303	186 116	0	36,9	59 590
Variante 2 : PAC sur sondes + PV + solaire thermique	313 215	55	303	290 946	134	34,4	57 991
Variante 3 : PAC sur sondes + PV (elec + ECS)	366 764	118	649	279 322	0	37,1	53 647
Variante 4 : PAC sur l'air + PV + solaire thermique	313 215	55	303	319 821	134	37,4	63 790
Variante 5 : PAC sur l'air + PV (elec + ECS)	366 764	118	649	309 819	0	40,2	59 916

Tableau 10: Tableau de synthèse de comparaison

6.3.5 Impact environnemental

Les hypothèses choisies pour les émissions (source KBOB) sont les suivantes :

Agent énergétique	Emissions de gaz à effet de serre (kg-eq Co2/kWh)	Référence
Chaudière bois (pellets)	0.038	Chaleur utile
PAC air-eau	0.063	Chaleur utile
PAC sur sondes géothermiques	0.046	Chaleur utile
Production PV	0.081	Energie finale
Collecteurs solaires plan, eau chaude	0.014	Chaleur utile
Mix consommation élec CH	0.102	Energie finale

Tableau 11 : Hypothèses émissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre sur 20 ans pour chaque variante sont ainsi présentés sur le graphique ci-dessous.

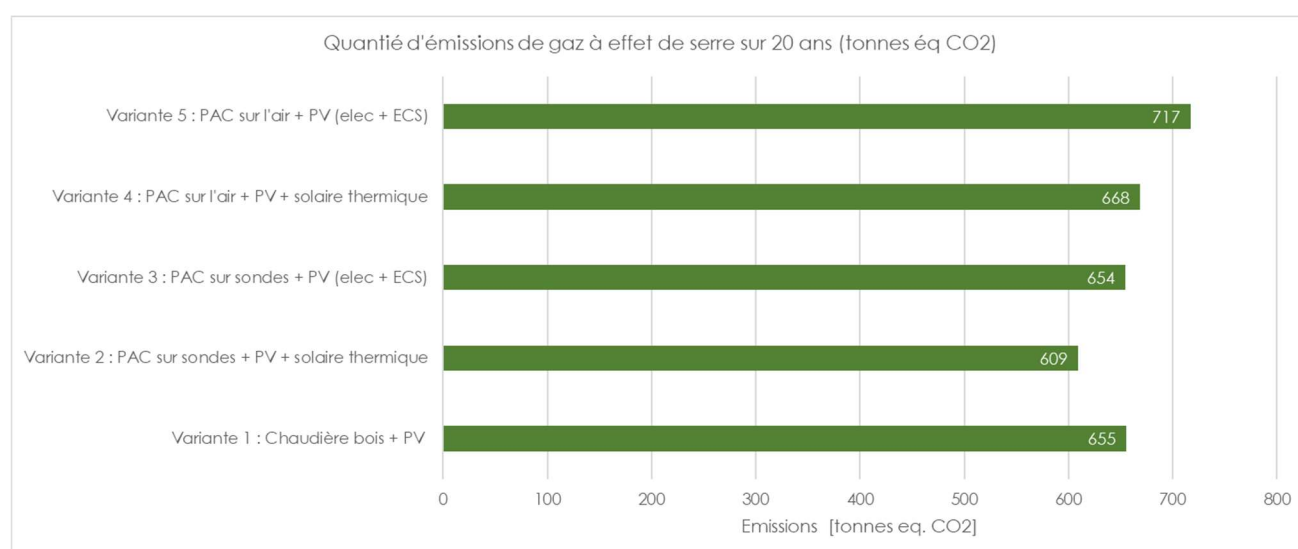


Figure 14 : Emissions de gaz à effet de serre sur 20 ans

La **variante 2** est la plus vertueuse en termes d'émissions de gaz à effet de serre. En effet, une installation de ce type couplée à des solutions photovoltaïques et collecteurs solaires thermiques permet de réduire de moitié la surface de panneaux photovoltaïques à mettre en place comparé à la variante 3. La PAC sur air a un coefficient de performance plus faible que le PAC sur sondes, ce qui engendre des besoins d'électricité plus important.

6.4 Approche en coût global

Cette partie présente une approche en coût global pour les différentes variantes.

Nota : Les coûts énergétiques et les coûts de maintenance sont pris à valeur constante pendant toute la durée d'amortissement et il n'est pas pris en compte de taux d'amortissement.

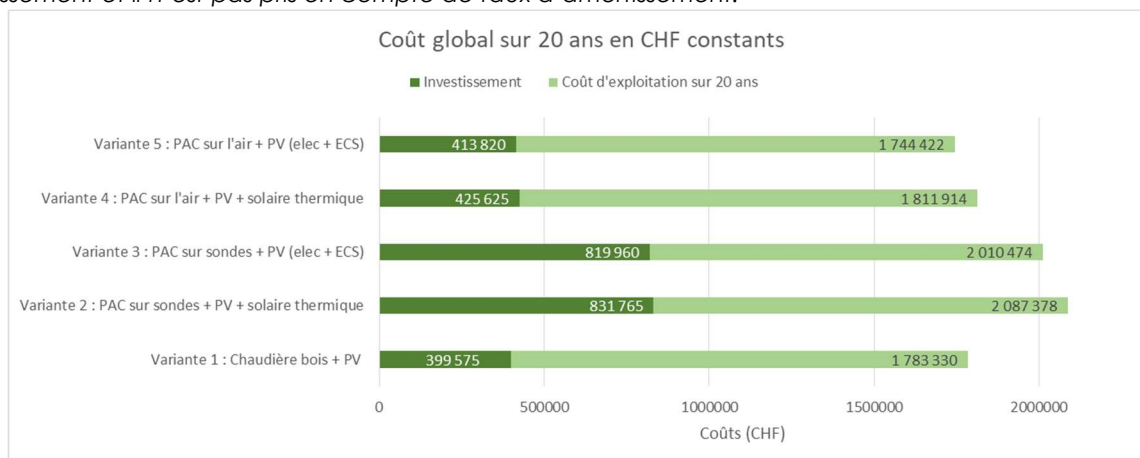


Figure 15 : Coût global des variantes d'approvisionnement sur 20 ans

Les variantes 1 et 5 sont les moins coûteuses sur 20 ans suivi de la variante 4 (PAC sur air + PV + solaire thermique). Les faibles coûts d'exploitations annuels des PAC sur sondes (variantes 2 et 3) ne permettent de compenser l'investissement initial élevé du système.

6.4.1 Retour sur investissement

Afin d'étudier le retour sur investissement des différentes installations, les solutions PAC sont comparées à variante 1 (chaudière bois) qui est système ayant le coût d'investissement le plus faible.

TABLEAU COÛTS DES SYSTÈMES		
Installation	Coût annuel d'exploitation (énergie + maintenance)	Investissement
	CHF/an	CHF
Variante 1 : Chaudière bois + PV	69 188	399 575
Variante 2 : PAC sur sondes + PV + solaire thermique	62 781	831 765
Variante 3 : PAC sur sondes + PV (elec + ECS)	59 526	819 960
Variante 4 : PAC sur l'air + PV + solaire thermique	69 314	425 625
Variante 5 : PAC sur l'air + PV (elec + ECS)	66 530	413 820

Tableau 12 : Coûts annuel d'exploitation (énergie + maintenance) et d'investissement des différentes variantes

Le tableau ci-dessous présente les différences de coût d'investissement et d'exploitation pour chaque variante comparée à la variante 1 et permet d'estimer le temps nécessaire pour amortir le surcoût d'investissement.

	Différence de coût investissement	Différence coûts annuels d'exploitation	temps nécessaire pour amortir le surcoût d'investissement
	CHF	CHF	année
Variante 2 : PAC sur sondes + PV + solaire thermique	432 190	-6 407	67
Variante 3 : PAC sur sondes + PV (elec + ECS)	420 385	-9 662	44
Variante 4 : PAC sur l'air + PV + solaire thermique	26 050	127	temps de retour infini
Variante 5 : PAC sur l'air + PV (elec + ECS)	14 245	-2 658	5

Tableau 13 : Retour sur investissement des variantes par rapport à la variante 1

Les solutions PAC sur sondes possèdent un temps de retour important du fait de l'investissement initial élevé. Elles sont rentables au bout de quelques années pour la solution PAC sur air + PV et au bout de plus de 44 ans pour la solution PAC sur sondes. (Attention dans les 44 ans autant la PAC que la chaudière bois devront être remplacées).

Le temps de retour infini pour la variante 4 signifie que son surcoût d'investissement ne sera jamais amorti. (Investissement et coût d'exploitation supérieur à ceux de la variante comparée). Cependant la différence d'investissement pour la variante 4 est faible ce qui signifie qu'elle est semblable à la variante 1.

6.4.2 Complément d'investissement lié à une installation de refroidissement

L'étude de coût d'investissement a été établie en ne considérant que les installations de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Cependant, lors d'épisodes caniculaires, les locaux restauration et espaces de séjours devront sûrement être rafraichis pour garantir un confort aux résidents considérés comme des personnes sensibles.

Les solutions de pompes à chaleur permettent de produire du froid l'été sans investissement supplémentaire. Or, pour la **variante 1 (chaudière bois)**, un groupe froid sera nécessaire en complément. Ce complément d'investissement pour une installation frigorifique serait de l'ordre **59 500 CHF**.

6.5 Conclusion sur l'approvisionnement

- La **variante 1** (chaudière bois + PV) est un bon compromis énergétique, économique et environnemental. Elle nécessite toutefois un approvisionnement régulier en bois, un local de stockage du pellet de l'ordre de 17 m³, une maintenance non négligeable ainsi qu'une consommation de bois en été. De plus, si certains locaux doivent être rafraichis, un groupe froid doit être installé en complément entraînant un complément d'investissement.
- La **variante 2** (PAC sur sondes + PV + solaire thermique) possède un investissement initial élevé et un temps de retour important de 67 ans par rapport à une chaudière bois. Néanmoins, elle est la meilleure solution énergétique et environnementale. Celle-ci a également l'avantage de ne pas nécessiter d'approvisionnement en bois, d'être très favorable dans le bilan Minergie et de favoriser l'autoconsommation du PV. De plus les besoins en ECS sont importants au sein d'un EMS y compris en été, la mise en œuvre de capteurs solaires thermiques est très intéressante et permet de limiter l'exploitation des sondes en été afin de les recharger. Cette variante permet pendant une période caniculaire de faire du rafraichissement (attention inconfortable car via le sol).
- La **variante 3** (PAC sur sondes sans capteurs solaires) est la plus avantageuse en termes de coûts d'exploitation annuel. Néanmoins, l'installation est exploitée pendant l'été ce qui entraîne une augmentation du nombre de sondes géothermiques.
- La **variante 4** (PAC sur air + PV + solaire thermique) possède un inconvénient acoustique et architectural. Malgré le fait qu'elle soit moins économique sur le long terme, elle est intéressante sur les 20 premières années de fonctionnement et permet une production d'eau chaude sanitaire l'été grâce aux capteurs solaires thermiques.
- La **variante 5** (PAC sur air + PV) représente une bonne solution économique avec un temps de retour sur investissement faible par rapport à une chaudière bois. En considérant du rafraichissement, l'investissement est même moins élevé que la variante 1. Cependant, ces solutions présentent un inconvénient acoustique et architectural non négligeable.

Malgré la nécessité de mettre en œuvre une installation de rafraichissement complémentaire pour garantir un confort aux résidents pendant les périodes caniculaires, la solution de **chaudière bois et panneaux solaires photovoltaïques (variante 1)** est un bon compromis entre coût d'investissement, d'exploitation et d'impact sur l'environnement surtout en prenant en compte la nature forestière de la commune de bois et la valorisation de la ressource locale.

7. Dimensionnement du local de stockage de pellets

Dans le cas de la mise en œuvre de la solution de chaudière bois, un local de stockage de Pellets est nécessaire. En considérant les mois les plus demandant en termes d'énergie (décembre et janvier), nous avons évalué la demande de chaleur par semaine. En estimant un approvisionnement en pellets toutes les 5 semaines. Le volume de stockage a été évalué à 17 m³.

	Besoins hebdomadaire de chaleur thermique chauffage + ECS	Qté de pellets pour produire chaleur thermique chauffage + ECS pour 5 semaines	Volume pellets équivalent	Volume du local de stockage
	kWh _{th} /semaine	kg	m ³	m ³
Variante 1 : Chaudière bois + PV	7 053	7 347	11.3	17

Tableau 14 : Dimensionnement du stockage de pellets

8. Prédimensionnement de champs de sondes géothermiques

Dans le cas de la mise en œuvre d'une pompe à chaleur sur sondes géothermiques, une simulation a été réalisée sur 50 années pour effectuer un prédimensionnement sommaire du champ de sondes nécessaires.

8.1 Hypothèses

La simulation du comportement du terrain pendant 50 années de fonctionnement des sondes géothermiques permet de valider le dimensionnement des champs de sondes. Les hypothèses suivantes ont été retenues pour cette simulation :

- Terrain :
 - Température initiale de 9.88°C
 - Gradient de température dans le terrain 30 K/km
- Sondes géothermiques :
 - Profondeur : 300 m
 - Nombre : 25
 - Entre-axe 10 m
 - Double U de 32 mm
- PAC :
 - Sans limitation de la température
 - COP de 4
 - 10% de pertes sont prises en comptes
 - Température départ terrain minimum 3°C (eau sans glycol)

Les simulations sont réalisées avec le logiciel Pilesim qui prend en compte un champ de sondes circulaire. Les sondes ont alors un espacement moyen entre elles.

Le COP est volontairement pris élevé pour cette simulation car plus le COP est haut plus l'énergie soutirée au terrain est importante.

8.2 Résultats

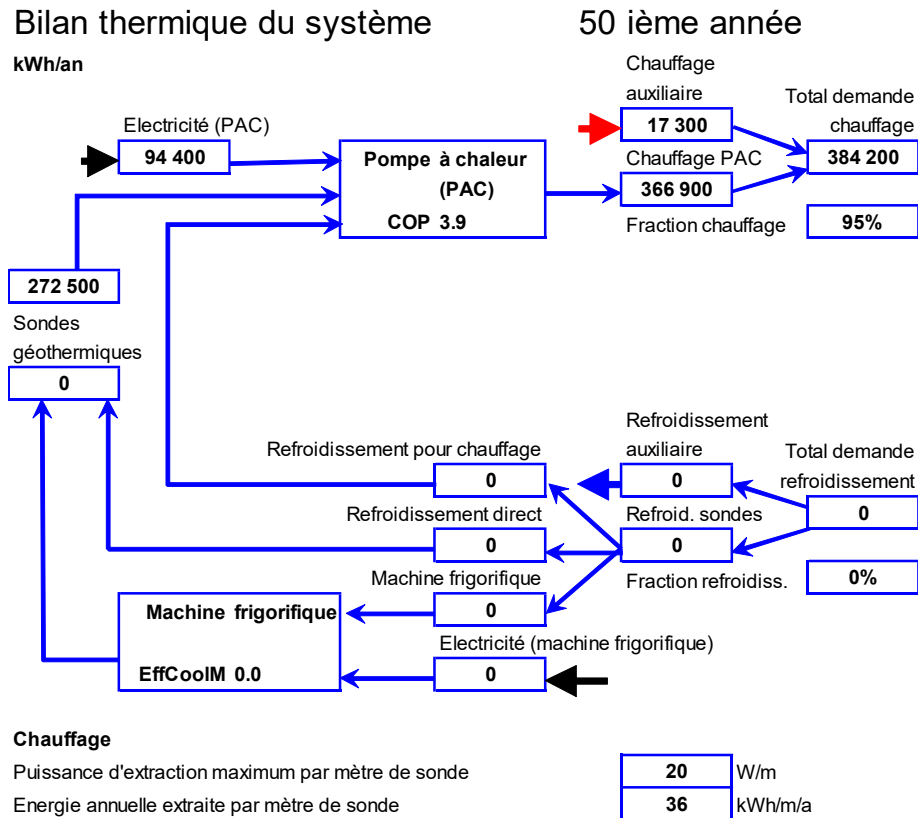


Figure 16 : Production énergétique du champ de sondes - 50ème année

Figure 17 : Température du fluide dans circuit hydraulique

La 50^{ème} année, la PAC ainsi que les 25 sondes couvrent 95% de la demande de chaleur (chauffage + ECS) et ce sans considérer la production d'ECS par les panneaux solaires thermiques. La puissance extraite par mètre de sonde est de 20 W/m et une énergie de 36 kWh/m/a.

La simulation montre que le champ de sonde est suffisamment dimensionné pour que son fonctionnement soit assuré dans le temps.