

LA PERRAUDETTAZ, BELMONT – PA RUEYRES 2

Planification énergétique territoriale

Rapport établi pour :

Retraites Populaires

Clara Marion, Cheffe de projets
Caroline 9, CH-1001 Lausanne
Tél.: 021 348 22 53 | Mobile: 079 302 75 08
c.marion@retraitespopulaires.ch

28 mars 2025

SOMMAIRE

1. Introduction	3
2. Objectifs et méthodologie.....	3
2.1 Objectifs de l'étude	3
2.2 Méthodologie.....	3
3. Caractéristiques du site.....	5
4. Potentiel photovoltaïque	6
4.1 Gisement solaire.....	6
4.2 Potentiel photovoltaïque	6
5. Production de chaleur	9
5.1 Sources non retenues.....	9
5.2 Sources retenues.....	11
6. Evaluation des besoins	13
6.1 Besoins énergétiques selon normes SIA	13
6.2 Exigences pour l'atteinte du label Minergie A	14
7. Scenarios de consommation et approvisionnement	15
7.1 Description des scénarios.....	15
7.2 Récapitulatif des consommations électriques	17
7.3 Analyses énergétiques	17
8. Conclusion.....	25

1. Introduction

La Caisse de Pension de l'Etat de Vaud (CPEV) a mandaté Retraites Populaires en tant que Maître d'ouvrage pour développer un plan d'aménagement sur le site de la Perraudettaz, PA Rueyres 2 à Belmont.

Le quartier, composé de 3 bâtiments, comportera 7'000 m² de surfaces de référence énergétique (SRE) de logements. La volonté du Maître d'ouvrage est de tendre vers 100% d'énergies renouvelables et locales, tout en limitant la consommation d'énergie et les émissions de CO₂.

La présente planification a pour objectif de définir des variantes de conception énergétique en fonction des ressources disponibles et des performances souhaitées pour le quartier.

2. Objectifs et méthodologie

2.1 Objectifs de l'étude

Les objectifs de la présente étude sont :

- L'analyse et l'optimisation des besoins énergétiques du site,
- L'analyse des potentiels de production locale et des solutions d'approvisionnement en énergie,
- L'évaluation technique et financière de variantes de concept énergétique.

Les variantes considérées sont les suivantes :

- Scénario « exigences légales » : respect des exigences légales,
- Scénario « performant » : Augmentation de la production locale et réduction de la consommation,
- Scénario « haute performance » : Maximisation de la production locale et minimisation de la consommation.

2.2 Méthodologie

Afin d'atteindre les objectifs ci-dessus, la méthodologie suivante a été appliquée :

Identification des besoins

Selon les surfaces et l'affectation des locaux, les besoins électriques ont été qualifiés : ils comprennent les usages domestiques, les usages techniques du bâtiment (production de chaleur, ventilation, sécurité et éclairage des parties communes), ainsi que des projections sur la mobilité électrique.

Ces besoins ont été quantifiés et agrégés afin de définir plusieurs variantes de profils de consommation à un pas de temps quart horaire. Les variantes considérées concernent essentiellement l'efficacité de la production de chaleur (coefficient de performance), des appareillages électriques et de la performance thermique des bâtiments. Les profils de charge ainsi créés servent de base pour l'étude et le dimensionnement de l'infrastructure énergétique.

Planification énergétique territoriale

Identification des potentiels de production

Selon la volumétrie du quartier et ses usages, les différents potentiels de production ont été qualifiés.

Après sélection des plus pertinents, ces potentiels ont été quantifiés et agrégés afin d'établir plusieurs variantes de profils de production, selon l'occupation des espaces désirée (réserves de surface en toiture, végétalisation, façades, etc...).

Etude énergétique et optimisation

Avec le déploiement des énergies renouvelables et intermittentes, la quantité d'énergie disponible subit des variations saisonnières et journalières de plus en plus marquées. L'impact sur la consommation et la valorisation de l'énergie produite ne cesse d'augmenter, avec par exemple la suppression d'heures pleines la journée par les gestionnaires de réseau ou la forte diminution des tarifs de reprise de l'énergie photovoltaïque. Dans ce contexte, il est désormais nécessaire de réfléchir non plus en termes de production et consommation annuelle, mais de profils de production et consommation.

Une recherche des solutions de flexibilité, notamment par le stockage d'électricité dans les batteries des véhicules électriques, a été menée afin d'optimiser la conception électrique. Des évaluations énergétiques au pas quart horaire ont permis d'aboutir à un diagramme sankey de la consommation et l'approvisionnement électrique du quartier.

3. Caractéristiques du site

Le site est composé de 3 bâtiments de surface de référence énergétique (SRE) totale de 7'000 m² et de surface de plancher déterminante (SPd) de 7'500m². Ils sont composés de 6 à 8 niveaux avec attique.

2 bâtiments existants sur les parcelles sont conservés. Leurs consommations ne sont pas prises en considération mais leurs toitures, bien qu'ombragées, pourraient être exploitables pour des installations photovoltaïques.

Hypothèses d'enveloppe

Les bâtiments devront comporter au minimum un attique, selon les exigences de la commune. Afin d'établir les calculs énergétiques, l'hypothèse de facteur d'enveloppe retenue est de 0.94 et correspond à des bâtiments compacts.

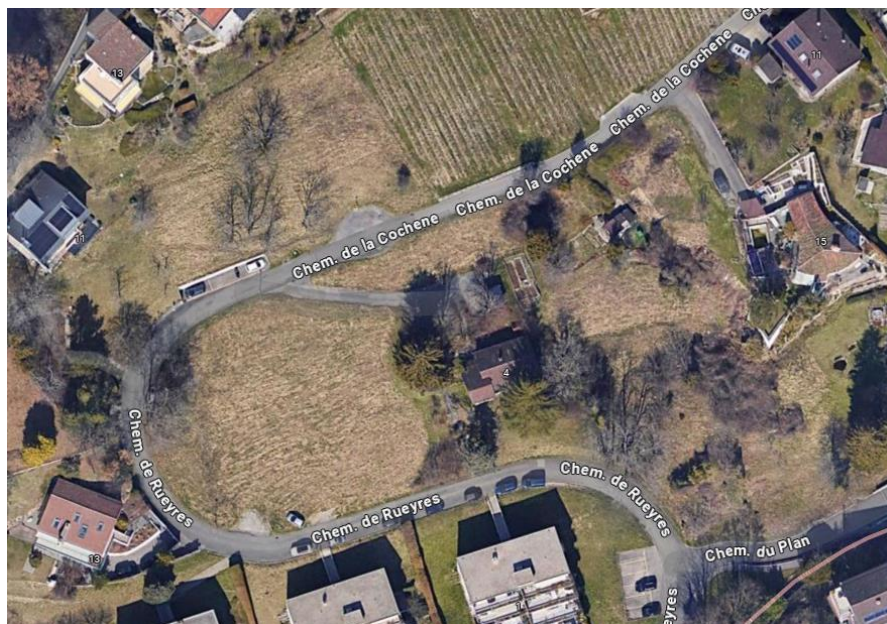
Parking

Le stationnement sur site sera assuré par un parking de 64 places résidents et 7 places visiteurs, soit 71 places.

Conditions environnementales

Les conditions suivantes ont servi de base à l'étude :

- Irradiation moyenne : 1'310 kWh/m²/an (source : [pvgis](#)),
- Température moyenne considérée : 9.4°.



Vue aérienne du site

4. Potentiel photovoltaïque

4.1 Gisement solaire

Performance en toiture

La solution pour optimiser la production sur toiture plate est d'installer les modules à double orientation (est et ouest), inclinés à 10°. Bien que le productible soit plus faible qu'une installation orientée plein sud, il est possible d'installer une puissance supérieure et donc d'obtenir une production globale plus élevée.

Le tableau ci-dessous résume les productibles en toiture pour des inclinaisons à 10° calculés à l'aide de PVGIS (détails fournis en annexe) :

- Orientation est : 999 kWh / kWc,
- Orientation ouest : 1'006 kWh / kWc,
- Production globale est-ouest : 1'003 kWh / kWc.

Performance en façade

Les façades les mieux orientées peuvent faire l'objet d'installations photovoltaïques afin de compléter le potentiel solaire en toiture. Les installations peuvent être disposées verticalement sur la façade ou en brise-soleil, avec un angle d'environ 35°.

Le tableau ci-dessous décrit les performances de ces configurations en fonction de l'orientation des façades :

Façades	Orientation ° / sud	Productible vertical kWh / kWc	Productible 35° kWh / kWc
Sud	0	1200	850
Sud ouest	45	1130	780
Ouest	90	940	570
Sud est	-45	1130	780
Est	-90	940	570

4.2 Potentiel photovoltaïque

Potentiel en toiture

L'implantation en toiture devra tenir compte de la végétalisation. Elle permettra l'entretien facile des plantes et limitera les ombrages. Ainsi, la configuration proposée qui constitue le meilleur compromis entre production et végétalisation est une installation en « papillon », surélevée, et des rangées espacées de 60 cm.



Figure 1 : illustration d'implantation sur toiture végétalisée (source Zinco)

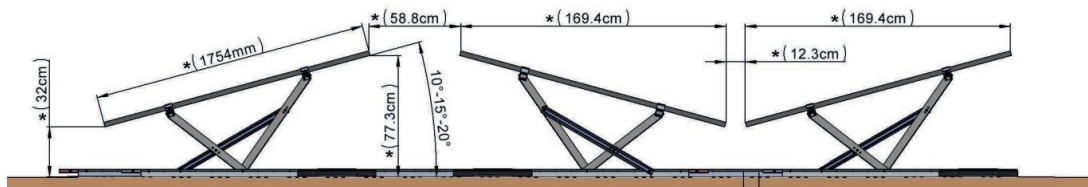


Figure 2 : Proposition d'implantation sur toit végétalisé (source : contec)

Compte tenu de la temporalité du projet, l'hypothèse d'un rendement des panneaux de 23.5% a été retenue. Le rendement actuel est supérieur à 22%.

Des attiques sont envisagés pour des raisons architecturales et urbanistiques, réduisant les surfaces de toiture disponibles. Seules les toitures supérieures ont été considérées pour l'évaluation du potentiel en toiture. Cependant, et en cas de nécessité ou souhait d'augmenter la puissance, les toitures intermédiaires pourraient également partiellement être exploitées.

Compte tenu des surfaces au sol prévues et de l'implantation envisagée sur toiture végétalisée, le tableau ci-dessous évalue le potentiel en toiture :

Bâtiment	Surface au sol m2	Surface toiture m2	Surface photovoltaïque m2	Potentiel PV kWc	Production photovoltaïque MWh
Bâtiment 1	480	270	220	52	52
Bâtiment 2	480	300	240	56	57
Bâtiment 3	510	300	200	47	47
Total	1470	870	660	155	156

Potentiel en façade

En disposant des brise-soleil sur les façades les mieux orientées, et en considérant une orientation moyenne sud-ouest ou sud-est, une surface de 1'450 m2 pourrait être approchée. Le potentiel associé est le suivant :

- Puissance : 340 kWc,
- Production : 380 MWh.

Planification énergétique territoriale

Potentiel rapporté à la surface des bâtiments

Les potentiels en toiture et façade, rapportés à la surface de référence énergétique des bâtiments, correspondent à :

- Toiture : 22 Wc/m² et 22 kWh/m²/an,
- Façade : 49 Wc/m² et 54 kWh/m²/an,
- Total : 71 Wc/m² et 76 kWh/m²/an.

Le tableau ci-dessous récapitule les puissances à atteindre par bâtiment pour respecter différents seuils de puissance par m² de SRE, qui caractériseront la performance des bâtiments :

Bâtiment	20Wc/m ²		40Wc/m ²		60Wc/m ²	
	Puissance kWc	Surface m ²	Puissance kWc	Surface m ²	Puissance kWc	Surface m ²
Bâtiment 1	51	217	102	434	153	651
Bâtiment 2	46	196	92	391	138	587
Bâtiment 3	43	181	85	363	128	544
Total	140	594	279	1188	419	1782

5. Production de chaleur

5.1 Sources non retenues

Chauffage à distance

A l'heure actuelle, il n'existe pas de chauffage à distance à proximité, ni de projet en cours sur la zone. Compte tenu de sa relativement faible densité énergétique, le secteur, qui se situe en périphérie des fortes densités de l'agglomération lausannoise, ne devrait pas être une priorité des développeurs de projet. Le chauffage à distance n'a donc pas été retenu dans les variantes potentielles. Cependant, en cas d'évolution de la situation et d'intérêt de développeurs potentiels, le raccordement au CAD devra être privilégié.

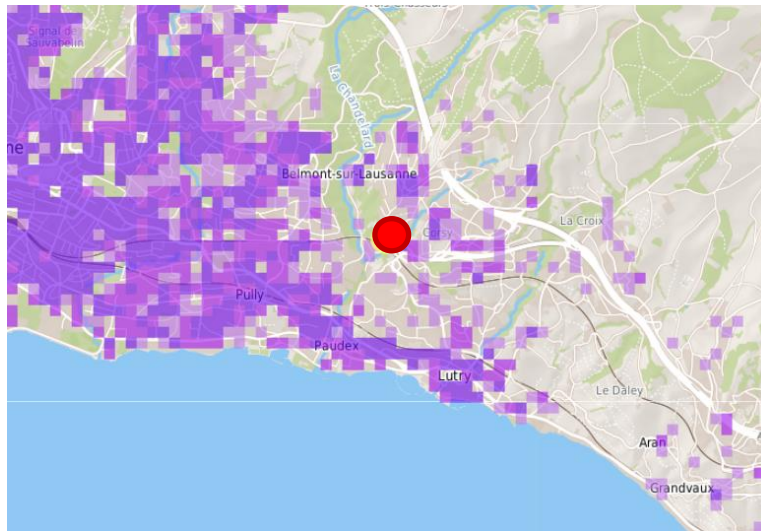


Figure 3 : carte des densités énergétiques ; source geo.vd.ch

Chauffage bois / pellets

Le site de Perraudettaz est situé en zone à immissions excessives (Type 1) sur le secteur urbain Lausanne-Morges. Dans ce contexte, une filtration supplémentaire des fumées est nécessaire, et le bois ne peut être considéré pour la couverture des 30 % des besoins en eau chaude sanitaire exigée par la loi cantonale (LVLEne RCV 730.01 - art. 28a, al. 1, let. C).

Planification énergétique territoriale

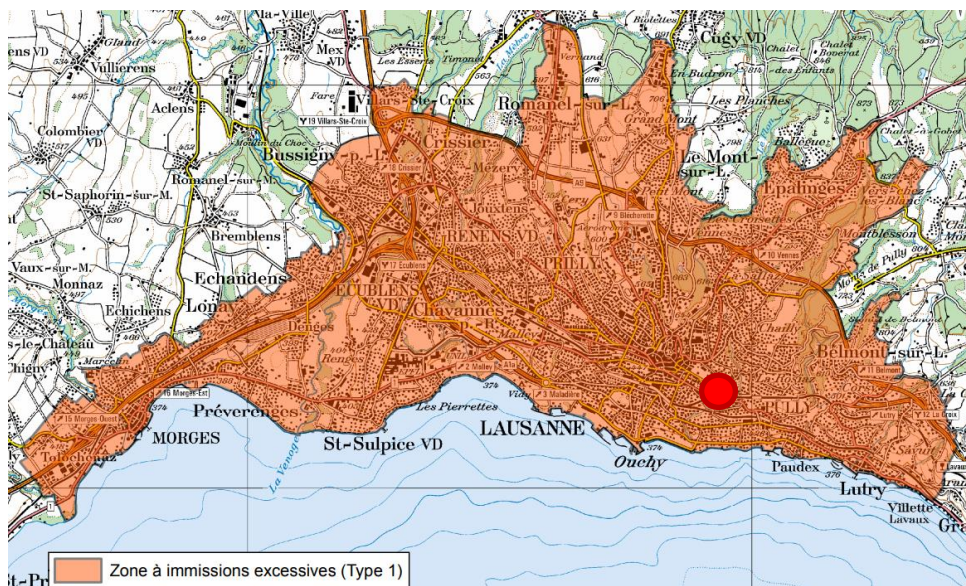


Figure 4 : zone à immissions excessives

Afin de respecter l'exigence légale de la LVLEne, il est donc nécessaire de compléter la solution bois dédiée au chauffage par, au choix :

- L'ajout de solaire thermique pour la production d'eau chaude sanitaire, réduisant de manière conséquente le potentiel photovoltaïque et donc l'autosuffisance du quartier,
- La mise en œuvre d'une pompe à chaleur alimentée par le photovoltaïque pour les seuls besoins d'eau chaude sanitaire, ce qui paraît peu rationnel.

La production de chaleur à partir de bois / pellets est donc déconseillée sur le site.

Nappe phréatique

Il n'existe pas de nappe phréatique exploitable à proximité de la zone. Une pompe à chaleur sur nappe phréatique (aquathermie) n'est donc pas envisageable.

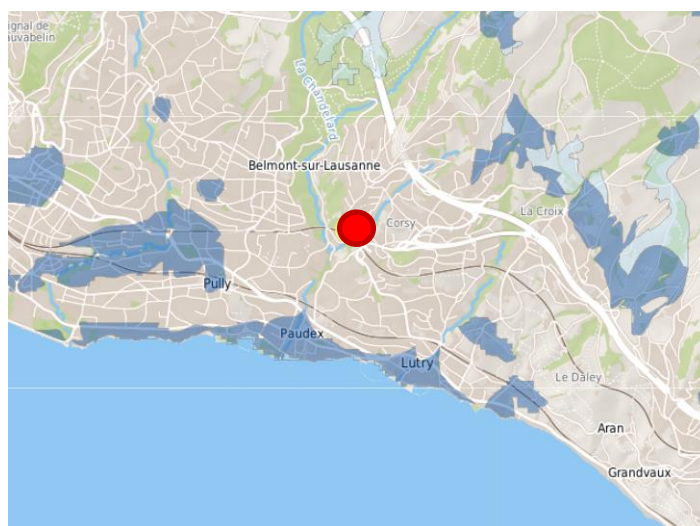


Figure 5 : nappes superficielles ; source geo.vd.ch

Planification énergétique territoriale

Solaire thermique

Bien que constituant une excellente solution pour couvrir une partie des besoins de chauffage et surtout d'eau chaude sanitaire, le solaire thermique n'est pas retenu car il génère un conflit d'usage des toitures avec le photovoltaïque. Il pourrait être envisagé dans l'hypothèse d'un fort équipement des façades en photovoltaïque.

Eaux usées

La récupération de chaleur sur eaux usées peut être envisageable sur ce site. Compte tenu des quantités de chaleur à apporter, ce système ne peut fonctionner que combiné avec un champ de sondes géothermiques. En première approche, il pourrait permettre de se substituer à une partie des sondes du champ et serait suffisant pour fournir l'énergie nécessaire aux besoins en eau chaude sanitaire l'été, permettant au champ de sondes une meilleure régénération par le geocooling. Après contact avec un fournisseur, la taille du site est suffisante pour que le projet soit pertinent énergétiquement. Il peut s'agir d'une option à approfondir, qui n'est pas incluse dans les simulations énergétiques à ce stade.

5.2 Sources retenues**5.2.1 GÉOTHERMIE**

Le site de Perraudettaz est situé dans une zone non interdite mais avec limitation sur le cadastre vaudois (carte : admissibilité indicative des sondes géothermiques) :

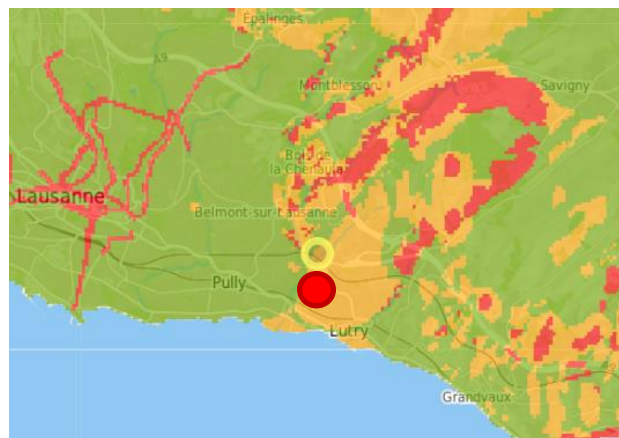


Figure 6 : admissibilité des sondes géothermiques, source geo.vd.ch

Selon une discussion avec les autorités cantonales, il ne s'agit pas d'une limitation en profondeur mais l'identification d'un risque de glissement de terrain pouvant affecter la durée de vie des sondes (cisaillement). Dans ce contexte, il est fortement recommandé d'avoir recours à un géologue pour évaluer les solutions techniques pour limiter le risque.

Les caractéristiques du sol sont les suivantes :

- Composé essentiellement de marne avec grès,
- Température en surface du sol de 9.6°C,
- Conductivité thermique du sol de 2.3 W/m.K (moyen) (donnée à 2.2 à 2.4 sur 100 m sur géoportail).

Selon ces hypothèses, les études énergétiques prennent en considération des forages à 300 m de profondeur. Afin d'optimiser le fonctionnement des sondes et l'espace de forage, une recharge estivale par rafraîchissement des locaux (geocooling) est considérée.

Les deux scénarios « performant » et « haute performance » ont fait l'objet d'une pré-étude dont les résultats figurent ci-dessous :

Planification énergétique territoriale

Scénario performant

- Puissance max : 220 kW,
- Consommation chaud : 260 MWh,
- Consommation rafraîchissement (geocooling) : 50 MWh,
- Champ de sondes : 2'800 ml, soit 10 sondes de 280m.

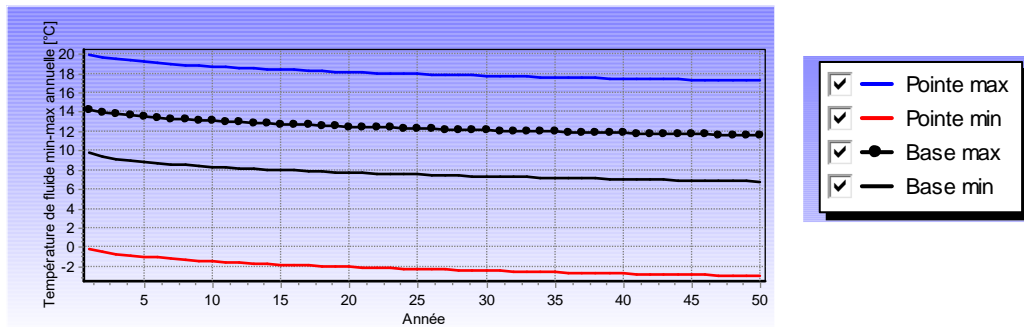


Figure 7 : diagramme de fonctionnement des sondes



Figure 8 : exemple d'implantation

Scénario haute performance

- Puissance max : 220 kW,
- Consommation chaud : 220 MWh,
- Consommation rafraîchissement (geocooling) : 50 MWh,
- Champ de sondes : 2'600 ml, soit 10 sondes de 260m.

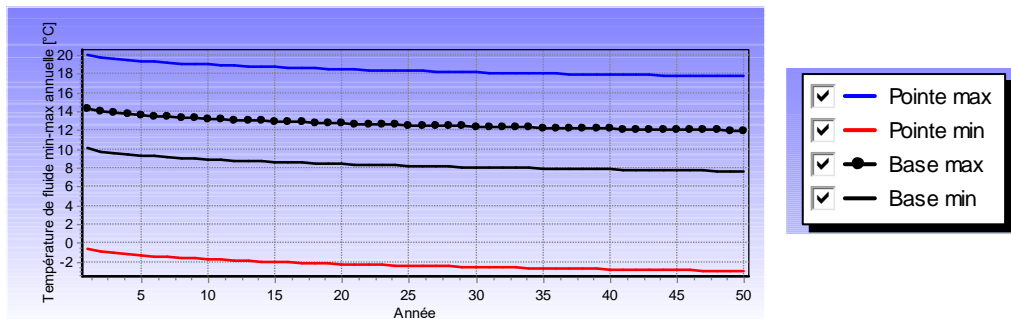


Figure 9 : diagramme de fonctionnement des sondes



Figure 10 : exemple d'implantation

Planification énergétique territoriale

5.2.2 AÉROTHERMIE

L'aérothermie peut être envisagée comme solution alternative à la géothermie en cas de difficulté technique ou administrative pour les forages. Néanmoins, la géothermie lui sera préférée pour les raisons suivantes :

- Le coefficient de performance est plus élevé pour la géothermie, que ce soit pour la production de chauffage ou d'eau chaude sanitaire,
- L'emplacement des pompes à chaleur aérothermiques engendre des contraintes architecturales et urbanistiques : en toiture, il consommerait un espace important dédié à la production photovoltaïque ; hors toiture, il nécessiterait la construction d'un volume supplémentaire.

Dans l'hypothèse où l'aérothermie est retenue, et compte tenu des puissances en jeu, il sera préférable de réaliser 3 installations séparées plutôt qu'une installation centralisée. Les installations devraient occuper des locaux d'environ 35m² par bâtiment, pour 3m de hauteur. L'amenée et l'extrait d'air devraient être constitués de deux prises d'environ 1.2*1.3m².

6. Evaluation des besoins

Les besoins en énergie du site peuvent être évalués selon les différentes valeurs, cibles ou standard, des normes SIA et des labels Minergie.

6.1 Besoins énergétiques selon normes SIA

Besoins électriques

Ceux-ci concernent à la fois :

- Les besoins de process des appartements (cuisson, appareillages multimédias et autres) et les besoins en éclairage. Il est difficile d'agir sur ces besoins sauf en pré-équipant les logements ou imposant des normes de performance des équipements,
- Les besoins des parties communes : pompes de chauffage et eau chaude sanitaire, ventilation, éclairages et équipements des parties communes, buanderie, équipements des parkings.

Les besoins électriques selon les normes SIA sont :

- SIA 380/1 : 28 kWh / m²,
- SIA 2024 :
 - Valeurs standards : 25.8 kWh / m²,
 - Valeurs cibles : 12.8 kWh / m².

Les besoins des communs sont évalués entre 2 et 5 kWh / m² de SRE.

Planification énergétique territoriale

Besoins thermiques

Les besoins thermiques diffèrent fortement selon le choix de la norme de référence.

- Chaleur selon SIA 380/1 : 27 kWh / m² (en fonction du facteur de forme, de la température de référence et de la SRE),
- Chaleur selon SIA 2024 : Valeur standard : 14.2 kWh / m², Valeur cible : 10 kWh / m²,
- Eau chaude sanitaire selon SIA 380/1 : 21 kWh / m²,
- Eau chaude sanitaire selon SIA 2024 : 17 kWh / m² (valeur standard et valeur cible).

Les puissances thermiques sont évaluées entre 30 (SIA 2024) et 40 kW (SIA 380/1).

Mobilité électrique

L'évolution de la mobilité électrique est définie dans la norme SIA 2060 et sert de base à l'étude. Les hypothèses suivantes sont prises en considération :

- Capacité moyenne de batterie : 60 kWh,
- Kilomètres parcourus annuellement : 10'000,
- Efficacité moteur : 0.2 kWh / km,
- Puissance des bornes de recharge : 11 kW.

Les besoins en nombre de places de parc équipées, puissance et énergie annuelle sont présentés ci-dessous

Années	2025	2030	2035	2040	2045	2050
% véhicules électriques	12%	33%	55%	64%	75%	100%
Nombre de véhicules	9	23	38	45	52	71
Besoin en puissance (kW)	33	58	78	86	94	11
Besoin en énergie (MWh)	18	46	76	90	104	138

6.2 Exigences pour l'atteinte du label Minergie A

Le maître d'ouvrage souhaite évaluer la possibilité d'atteindre le label Minergie A. Compte tenu du fort besoin en énergie photovoltaïque associé à ce label, dépendant de l'énergie thermique consommée, les performances de l'enveloppe devront être optimisées.

Une première évaluation de la puissance photovoltaïque nécessaire a été réalisée sur la base des hypothèses suivantes :

- Besoins en chauffage selon valeurs standards SIA 2024,
- Ensemble d'appareillages électriques très performants, permettant de viser les besoins électriques selon les valeurs cibles de la SIA 2024,
- Besoins d'eau chaude sanitaire selon les valeurs cibles/standard de la SIA 2024,

Afin d'atteindre la labellisation Minergie A et selon les hypothèses fournies ci-dessus, il est nécessaire de produire un minimum de 30 kWh/m². Cette production s'atteint en équipant les toitures et une partie des façades.

7. Scénarios de consommation et approvisionnement

3 variantes de scénarios ont été établies pour le concept énergétique :

- Scénario « exigences légales » : besoins selon SIA 380/1 et respect du minimum légal pour l'approvisionnement renouvelable,
- Scénario « performant » : besoins selon Minergie P et photovoltaïque maximisé en toiture,
- Scénario « haute performance » : Besoins et production optimisés, permettant de s'approcher de la performance Minergie A

Tous les scénarios considèrent qu'un regroupement pour la consommation propre sera mis en œuvre (RCP), afin que l'énergie photovoltaïque soit majoritairement consommée sur site.

7.1 Description des scénarios

7.1.1 SCENARIO EXIGENCES LÉGALES

Le scénario exigences légales respecte le minimum légal de production photovoltaïque en vigueur sur le canton : couverture de 20 % des besoins électriques et 30% des besoins d'eau chaude sanitaire. Les besoins sont définis par la norme SIA 380/1.

Les hypothèses sont résumées ci-dessous :

Besoins		
Electricité	28 kWh/m ²	SIA 380/1
Chauffage	27 kWh/m ²	SIA 380/1
Eau chaude sanitaire	21 kWh/m ²	SIA 380/1
Mobilité	7 kWh/m ²	SIA 2060, hypothèse année 2030
Source de chaleur		
Type	aérothermie	
COP chauffage	3	
COP ECS	2.5	
Production photovoltaïque		
Type de toiture	végétalisée	
Puissance en toiture	140 kWc	20 Wc/m ²
Puissance en façade	0 kWc	

Planification énergétique territoriale

7.1.2 SCENARIO PERFORMANT

Le scénario performant prend en considération une enveloppe plus performante, répondant aux standards du label Minergie P, et est plus ambitieux que la législation en matière de production photovoltaïque. Les hypothèses sont résumées ci-dessous :

Besoins

Electricité	28 kWh/m ²	SIA 2024 - valeurs standard
Chauffage	18 kWh/m ²	selon Minergie P
Eau chaude sanitaire	19 kWh/m ²	Selon Minergie P
Mobilité	7 kWh/m ²	SIA 2060, hypothèse année 2030

Source de chaleur

Type	géothermie avec geocooling	
COP chauffage	4	
COP ECS	3.2	

Production photovoltaïque

Type de toiture	végétalisée	
Puissance en toiture	140 kWc	20Wc/m ²
Puissance en façade	140 kWc	20Wc/m ²

7.1.3 SCENARIO HAUTE PERFORMANCE

Le scénario haute performance correspond à un scénario énergétiquement ambitieux. Les besoins en chauffage et eau chaude respectent les valeurs standards de la SIA 2024, mais il n'est pas souhaité de respecter les valeurs cibles pour le chauffage : celles-ci entraînent en effet l'utilisation de matériaux énergivores et non biosourcés à la construction.

Les besoins électriques respectent les valeurs cibles de la SIA 2024 et entraînent l'installation d'équipements particulièrement performants, associée à une certaine sobriété des usages. Il pourrait être nécessaire de prééquiper les appartements pour s'assurer du niveau d'un niveau de performance suffisant. Ce choix dépend de l'évolution technologique et des standards énergétiques des appareillages au moment de la construction.

Une géothermie avec géocooling est installée, et la production photovoltaïque en toiture est complétée d'une production en façade permettant de s'approcher, voire d'atteindre la labellisation Minergie A – P.

Besoins

Electricité	20 kWh/m ²	SIA 2024 - valeurs cibles
Chauffage	15 kWh/m ²	SIA 2024 - valeurs standard
Eau chaude sanitaire	17 kWh/m ²	SIA 2024 - valeurs standard ; cible
Mobilité	7 kWh/m ²	SIA 2060, hypothèse année 2030

Source de chaleur

Type	géothermie avec geocooling	
COP chauffage	4	
COP ECS	3.2	

Production photovoltaïque

Type de toiture	végétalisée	
Puissance en toiture	140 kWc	20Wc/m ²
Puissance en façade	280 kWc	40 Wc/m ²

Planification énergétique territoriale

7.2 Récapitulatif des consommations électriques

Le tableau suivant récapitule les consommations électriques, rapportées au m² et totales, des 3 scénarios, en appliquant les coefficients de performance pour la production de chauffage, et en intégrant l'évaluation de la mobilité à horizon 2030 :

Synthèse consommations électriques	SIA380/1		Performant		Haute performance	
	kWh/m ²	MWh	kWh/m ²	MWh	kWh/m ²	MWh
Electricité	28	196	28	196	20	140
Chauffage	9	63	5	32	4	26
ECS	8	59	6	42	5	37
Mobilité (2030)	7	46	7	46	7	46
Total	52	364	45	315	36	249

7.3 Analyses énergétiques

Les résultats présentés ci-dessous concernent les différents scénarios étudiés.

Dans le tableau, les taux sont définis comme suit :

- Ratio production / consommation : quantité d'énergie produite divisée par la consommation du site,
- Taux de consommation propre : part de l'énergie produite qui est consommée sur site,
- Taux d'auto-alimentation (ou autosuffisance) : part de la consommation qui provient de l'énergie photovoltaïque.

Le graphique *production vs consommation sur une année* représente, à un pas de temps quart horaire sur une année, la production en orange et la consommation en bleu. Les deux graphiques suivants sont des zooms sur 2 semaines estivales et hivernales.

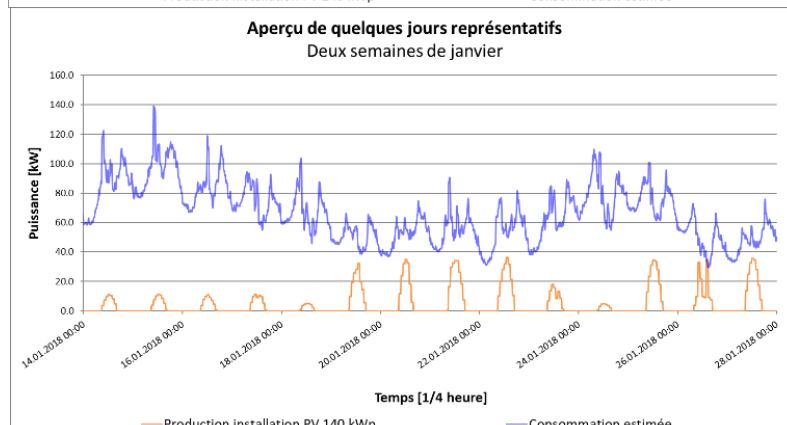
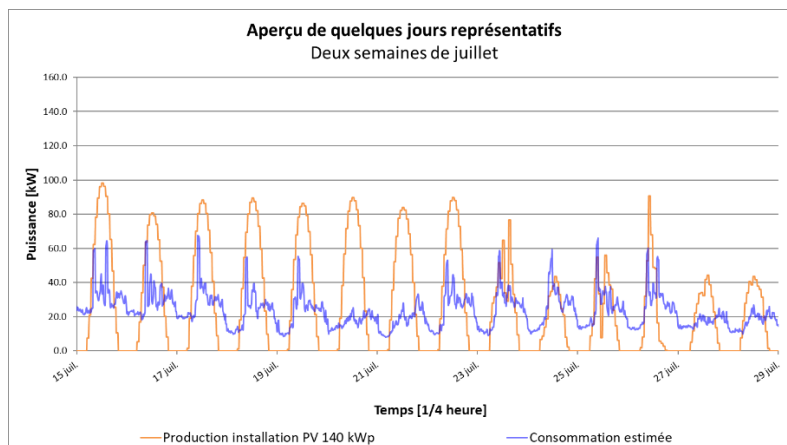
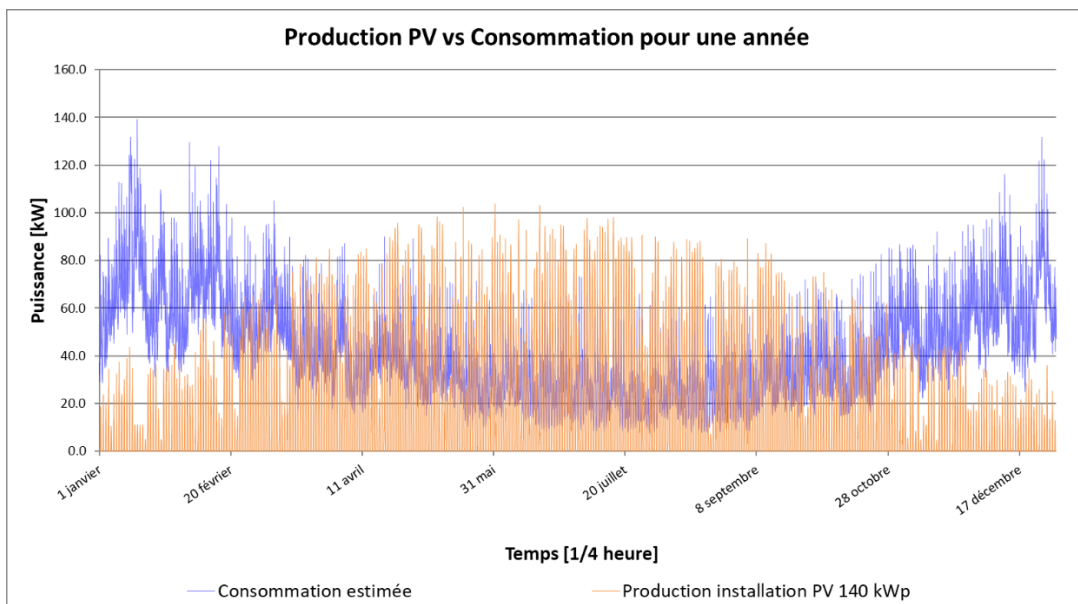
Pour calculer les productions photovoltaïques, il est supposé que

- Les panneaux en toiture sont orientés est et ouest, avec une inclinaison de 10°,
- Les panneaux en façade sont orientés sud-est et sud-ouest, avec une inclinaison de 30°.

Planification énergétique territoriale

7.3.1 SCENARIO EXIGENCES LÉGALES

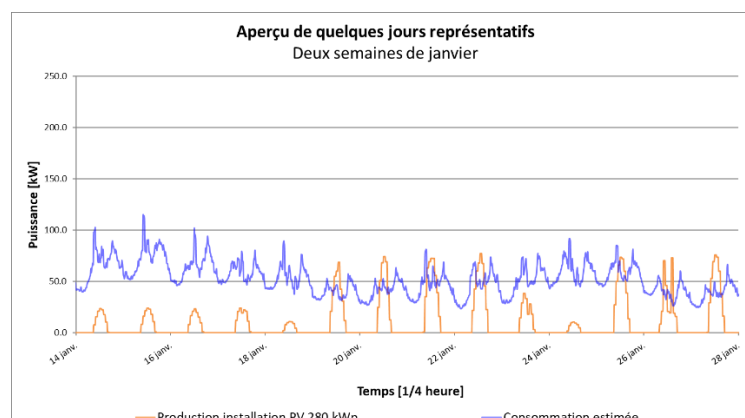
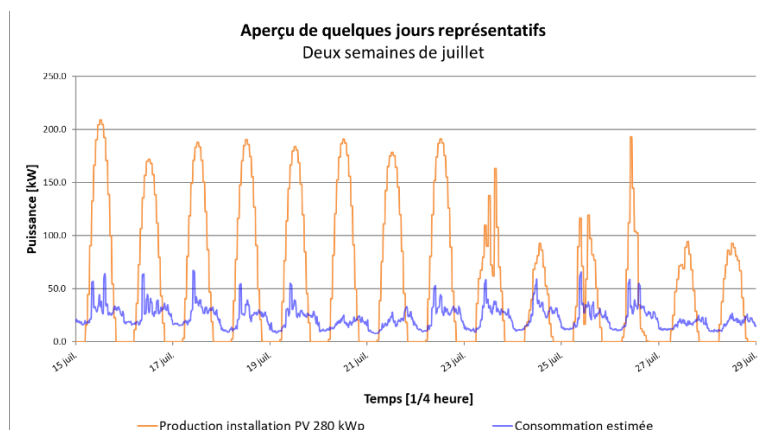
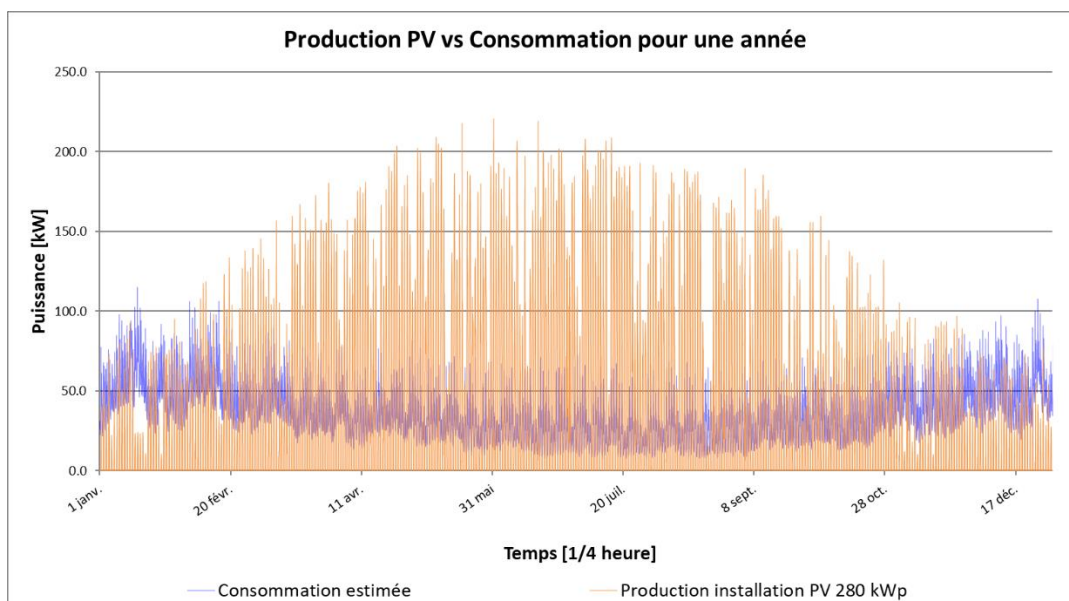
Puissance de l'installation PV :	140 kWp
Consommation totale annuelle	365 MWh
Production totale annuelle	140 MWh
Ratio Production / Consommation	38 %
Consommation propre annuelle	96 MWh
Taux de Consommation propre	68 %
Taux d'auto-approvisionnement	26 %



Planification énergétique territoriale

7.3.2 SCENARIO PERFORMANT

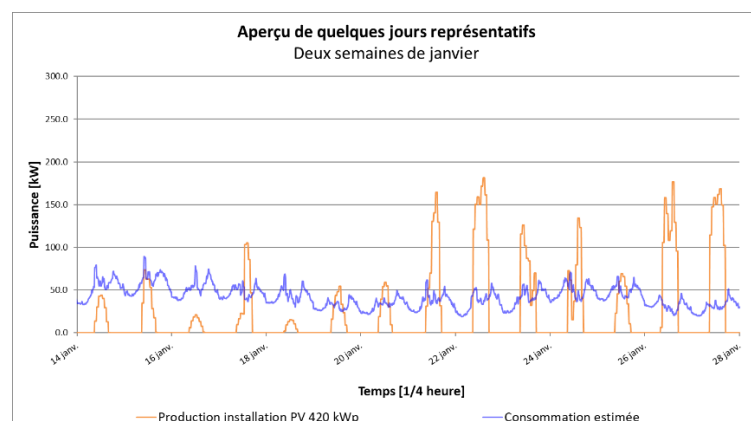
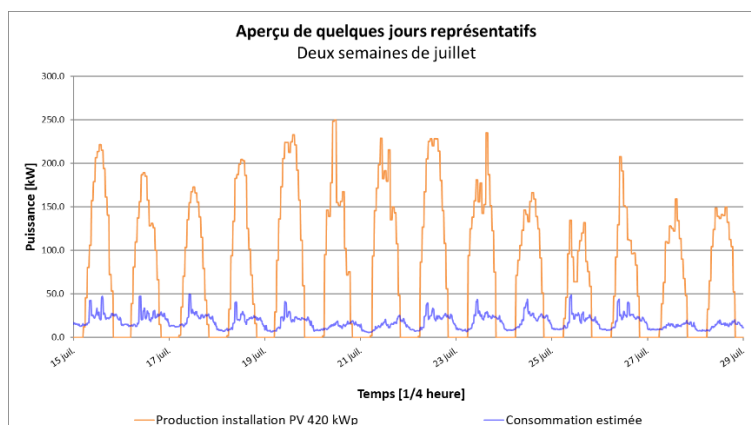
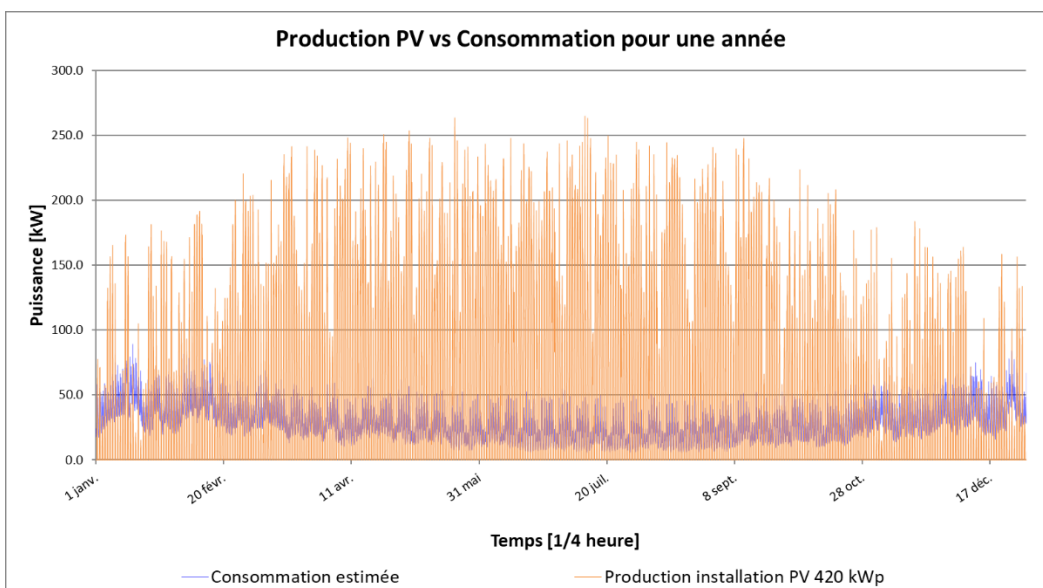
Puissance de l'installation PV :	280 kWp
Consommation totale annuelle	315 MWh
Production totale annuelle	299 MWh
Ratio Production / Consommation	95 %
Consommation propre annuelle	120 MWh
Taux de Consommation propre	40 %
Taux d'auto-approvisionnement	38 %



Planification énergétique territoriale

7.3.3 SCENARIO HAUTE PERFORMANCE

Puissance de l'installation PV :	420 kWp
Consommation totale annuelle	249 MWh
Production totale annuelle	457 MWh
Ratio Production / Consommation	183 %
Consommation propre annuelle	109 MWh
Taux de Consommation propre	24 %
Taux d'auto-approvisionnement	44 %



Planification énergétique territoriale

7.3.4 OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE

Dans un contexte où la valorisation des excédents d'énergie diminue, il peut être envisagé d'optimiser la gestion de l'énergie. 2 solutions principales existent :

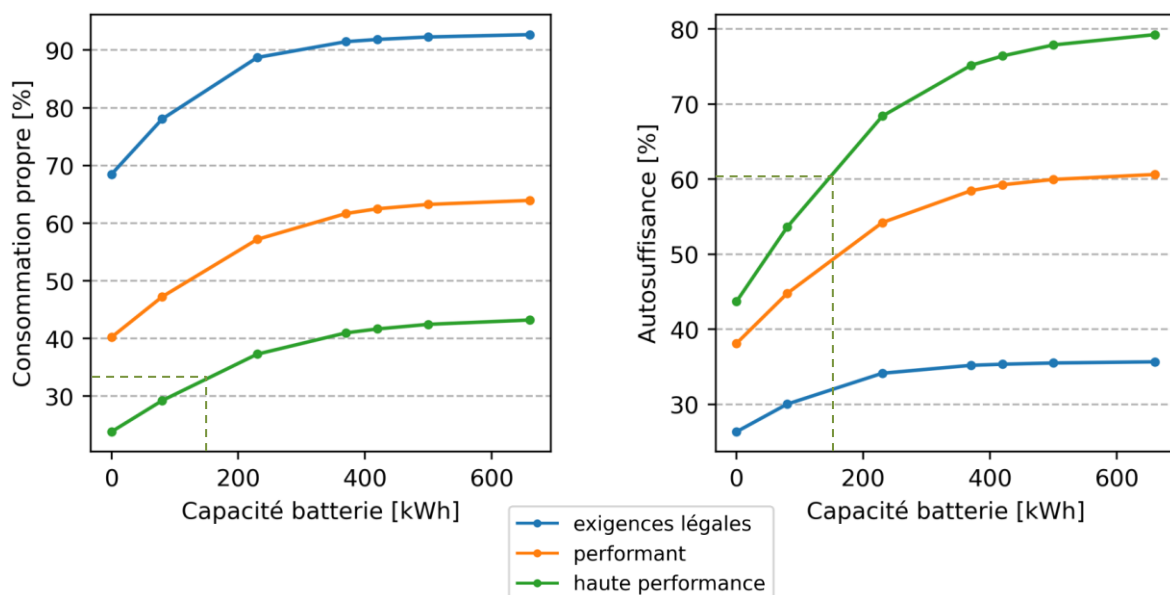
- Stocker puis restituer l'énergie excédentaire,
- Piloter les charges, gérer l'énergie et sensibiliser les consommateurs.

Stockage d'énergie

Les 3 principales solutions pour stocker les surplus photovoltaïques sont :

- Stockage thermique : mettre en place des stocks tampon et produire des excédents de chaleur et d'eau chaude sanitaire aux périodes ensoleillées ; l'inertie du bâtiment peut également être utilisée en hiver et à mi-saison, en augmentant les températures de consigne en journée ; enfin, la recharge des sondes géothermiques constitue un stockage saisonnier,
- Stockage avec des batteries stationnaires : le coût des batteries a très fortement diminué ces dernières années et cette tendance devrait se poursuivre jusqu'à la construction des bâtiments. Des batteries permettraient de stocker les excédents journaliers et les restituer durant les heures pleines du gestionnaire de réseau, en soirée,
- Stockage grâce aux batteries de véhicules électriques : utiliser les batteries des véhicules en charge pour stocker l'énergie photovoltaïque (charger le véhicule la journée) et en restituer une partie la nuit (décharger le véhicule pour alimenter les consommateurs). La plupart des utilisateurs n'ont besoin, au quotidien, que d'une faible part de la batterie pour leur mobilité et bénéficient donc d'une réserve pour assurer ce service. Cette solution, encore peu mature, doit être anticipée en développant une infrastructure de recharge des véhicules électriques centralisée.

Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution de la consommation propre et l'auto-alimentation en fonction des capacités de stockage installées ; le point identifié représente une batterie de 150 kWh, qui correspond à la limite de capacité en dessous de laquelle les contraintes de protection incendie sont peu coûteuses. La consommation propre est de 33% et l'auto-alimentation de 60%.



Planification énergétique territoriale

Ce stockage pourrait, à terme, être assuré par les véhicules. Dans l'hypothèse où 50 % des véhicules sont présents constamment dans le parking, et 30% de leurs batteries sont disponibles pour stocker l'énergie, une capacité de stockage de 150 kWh correspond à 15 à 20 véhicules disponibles pour offrir ce service.

Gestion et sensibilisation énergétique

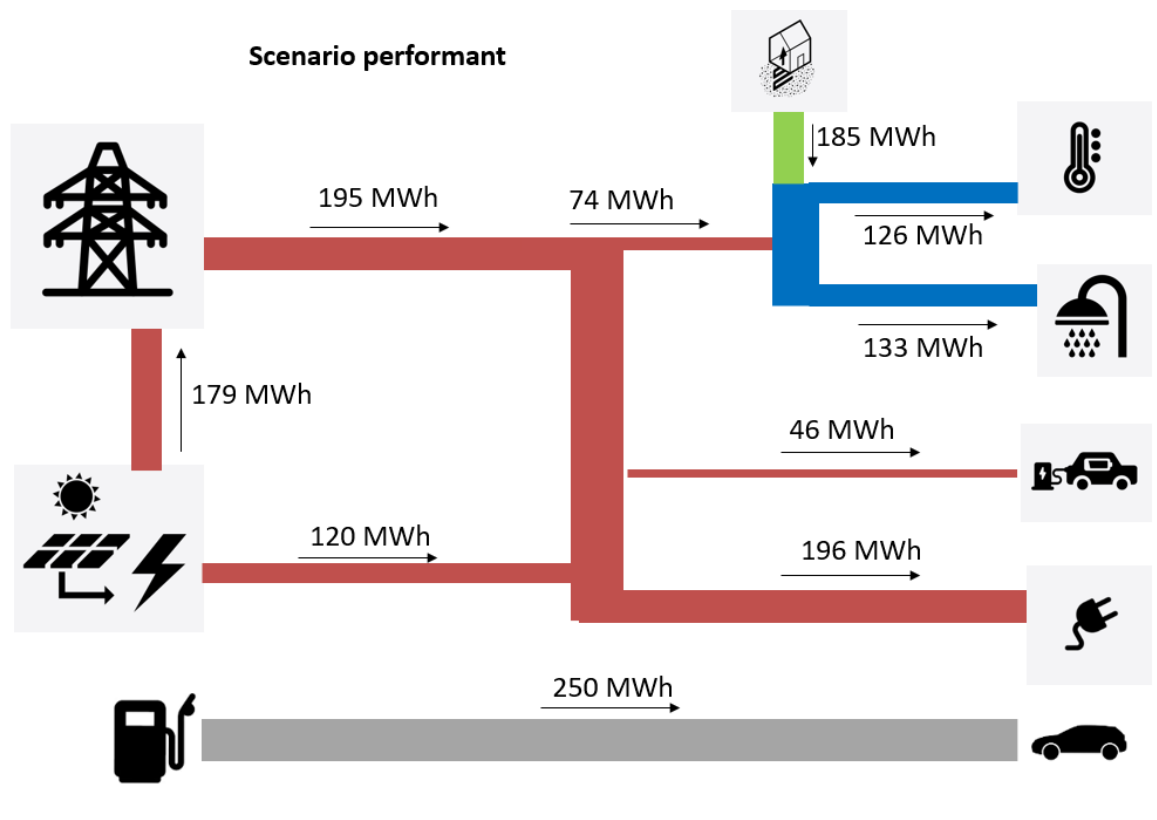
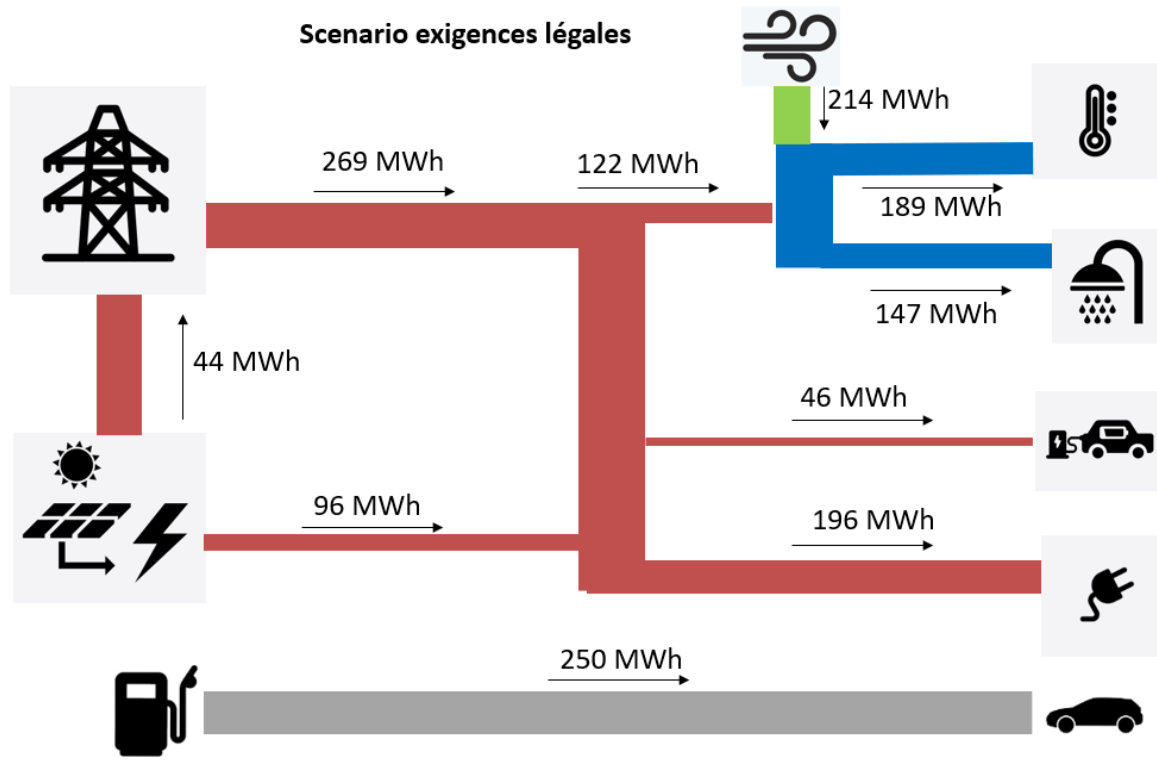
Sans stocker l'énergie photovoltaïque produite, il peut être intéressant de déplacer les consommations pour maximiser la consommation photovoltaïque et limiter l'importation depuis le réseau. Différentes solutions peuvent être envisagées :

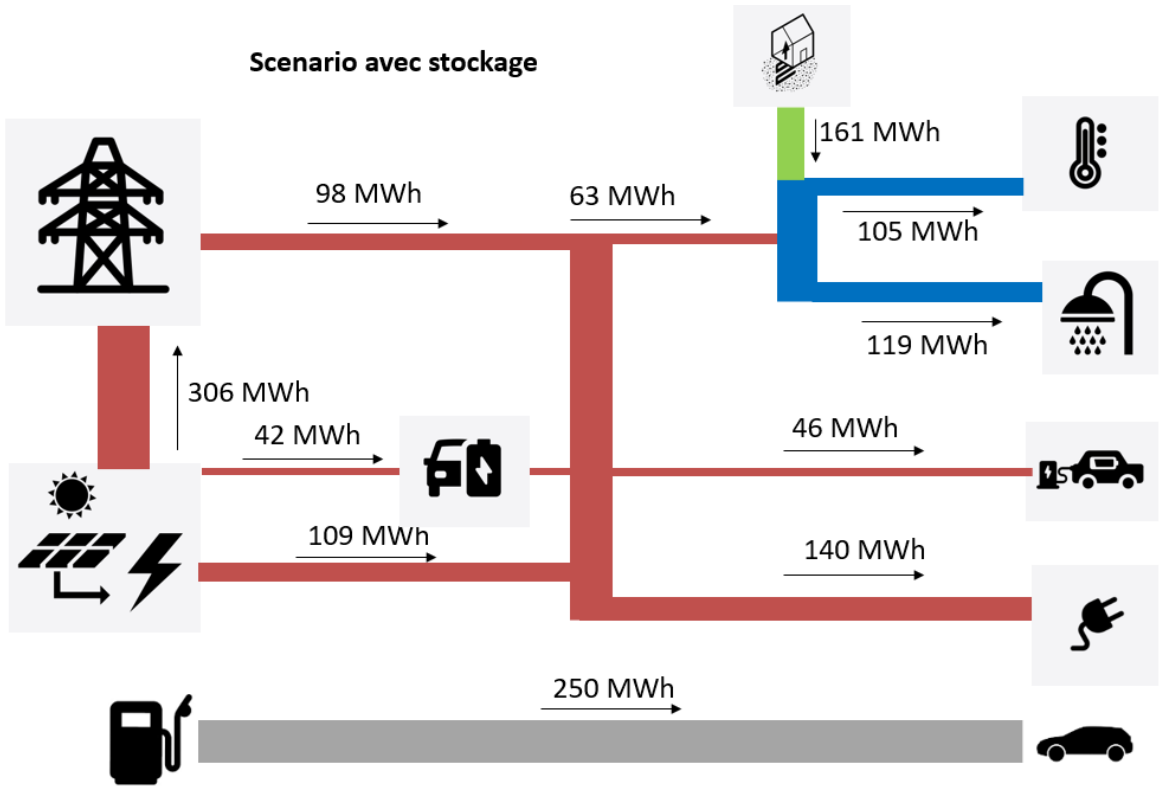
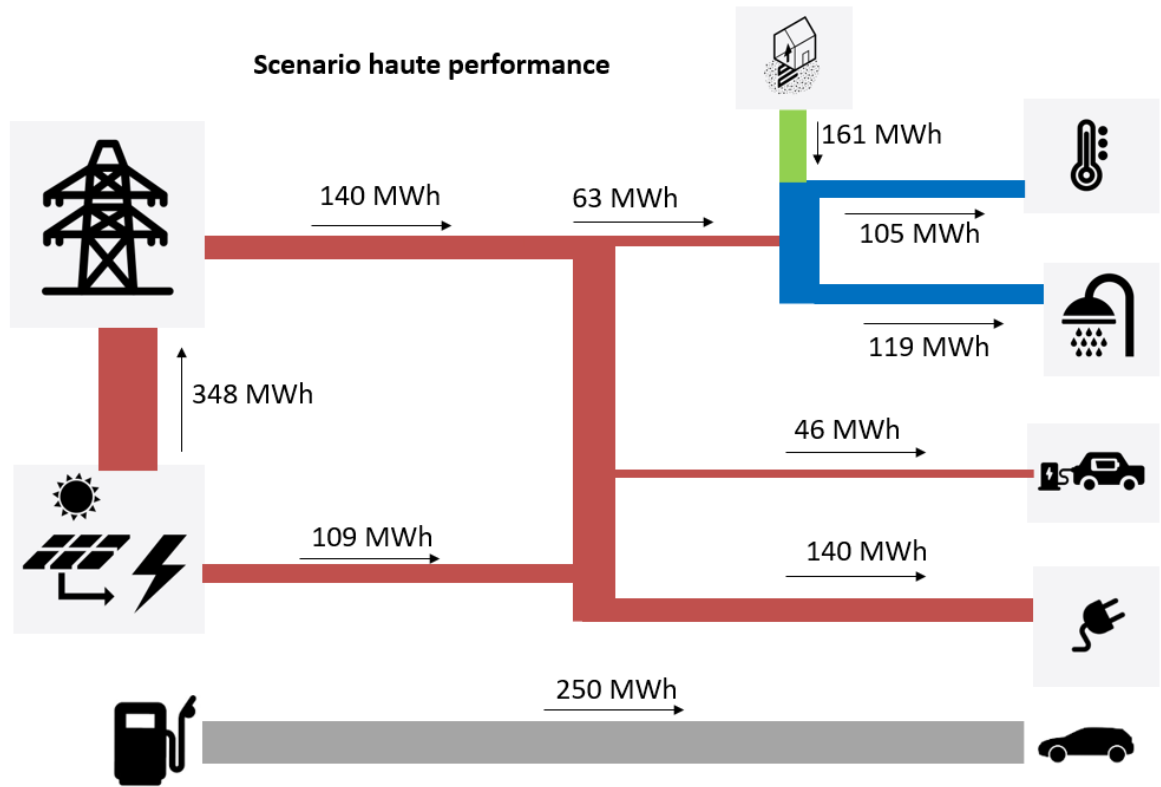
- Incitation tarifaire : proposer aux consommateurs un prix de l'électricité photovoltaïque bas afin de créer une incitation à consommer pendant les périodes ensoleillées,
- De la même manière, permettre une recharge bon marché des véhicules aux périodes d'excédents solaires,
- Limiter la consommation nocturne et accentuer la consommation diurne des équipements techniques grâce à l'automatisation des bâtiments,
- Piloter la production de chaleur et d'eau chaude sanitaire en fonction des excédents photovoltaïques,
- Sensibiliser les consommateurs aux économies d'énergie et à la sobriété, notamment dans l'utilisation des espaces communs (buanderie, etc.) ; il est utile de donner accès au monitoring énergétique (consommation et production) du site afin de leur permettre de consommer plus facilement l'énergie photovoltaïque.

7.3.5 SYNTHÈSE DES ANALYSES ÉNERGÉTIQUES

La synthèse des analyses énergétiques est présentée ci-dessous sous forme de diagramme de Sankey. Ces diagrammes représentent les flux d'énergie du site. Les flux électriques sont représentés en bordeaux, les flux thermiques en bleu, les apports thermiques de l'environnement (sol, air) en vert et les carburants en gris. Les hypothèses pour la consommation de carburants sont une consommation moyenne de 5L/100 km, avec 10'000 km parcourus par an. L'année de référence pour la mobilité électrique est toujours 2030.

Planification énergétique territoriale





Ce dernier graphique montre l'impact du stockage sur la consommation propre et l'énergie soutirée du réseau. Celui-ci permet de stocker et consommer sur site 42 MWh de photovoltaïque, donc de soutirer 42 MWh de moins depuis le réseau.

8. Conclusion

3 scénarios d’approvisionnement ont été étudiés sur le site en fonction des performances en termes de consommation et des installations techniques à mettre en œuvre. Le projet retenu devra respecter à minima les exigences suivantes :

- Végétaliser la toiture,
- Réaliser une installation photovoltaïque d’une puissance minimale de 20 Wc / m² de SRE sur celle-ci ; configurer l’installation pour optimiser la production solaire, le maintien de la végétalisation et l’entretien, selon préconisations de la norme SIA 2062,
- Assurer la production de chauffage et de chaleur à partir d’énergies renouvelables ou raccordement à un chauffage à distance si disponible,
- Respecter la norme SIA 380/1 pour concevoir l’enveloppe des bâtiments et limiter la déperdition thermique,
- Prévoir une infrastructure de recharge des véhicules électriques centralisée répondant au minimum aux exigences de la norme SIA 2060.

Les recommandations ci-dessous pourraient améliorer le concept énergétique, au-delà des exigences décrites ci-dessus :

- Augmenter la puissance photovoltaïque de 20 Wc/m² à 40 voire 60 Wc / m², en réalisant une installation en façade de type brise-soleil,
- Privilégier, sous réserve de faisabilité technique, la géothermie plutôt que l’aérothermie,
- En cas de géothermie, rafraîchir les locaux avec du geocooling l’été afin de recharger les sondes et stocker les surplus photovoltaïques estivaux dans le sol,
- Evaluer le potentiel de récupération de chaleur sur les eaux usées en complément de la géothermie, afin de réduire le nombre de forages et mieux recharger les sondes l’été,
- Utiliser des matériaux pour l’enveloppe à faible émissions grises de carbone, de type biosourcé,
- Mettre en œuvre une enveloppe et des appareillages permettant d’atteindre les performances du Minergie P au minimum, voire s’approcher des valeurs cibles de la SIA 2024, à l’exception de la valeur cible du chauffage qui exclut l’utilisation potentielle de matériaux biosourcés,
- Prévoir une infrastructure de recharge de véhicules électriques évolutive, si possible avec un système de gestion compatible avec de futures opportunités de stockage électrique, sans pour autant augmenter la puissance d’introduction,
- Mettre en œuvre un système d’optimisation énergétique pour réduire les excédents photovoltaïques et stocker l’électricité sous forme de chaleur (inertie du bâtiment ou stockage tampon avec température surélevée) ; pilotage de la production de chaleur, fortes incitations à recharger son véhicule la journée et pilotage dynamique de la recharge,
- En cas de souhait d’atteindre le label Minergie A, des études plus poussées sur l’enveloppe et les caractéristiques techniques des bâtiments devront permettre d’affiner les besoins photovoltaïques, mais une installation conséquente en façade sera de toute façon nécessaire,
- Afin de maximiser la rentabilité de l’installation et la consommation propre sur site, il serait pertinent de créer un RCP (Regroupement pour la Consommation Propre) en incluant tous les locataires. La participation à ce regroupement devra être incluse dans le bail afin que chacun y participe.

Planification énergétique territoriale

- Suivre efficacement la construction et l'exploitation des bâtiments pour éviter ou réduire au maximum l'écart de performance entre les valeurs théoriques et mesurées. La sensibilisation des consommateurs est également un enjeu important pour l'atteinte de cet objectif.

Florent Jacqmin
Responsable pôle systèmes énergétiques

PLANAIR SA ; FJN/ngi ; Yverdon-les-Bains, 28 mars 2025