canton de vaud

LIBERTÉ ET PATRIE

AVRIL 2012 **481**

RAPPORT DU CONSEIL D'ETAT AU GRAND CONSEIL
sur le postulat Jean-Michel Favez au nom du groupe socialiste visant à la réalisation d'installations solaires-thermiques sur les bâtiments publics

Rappel du postulat

Développement

La population vaudoise a manifesté, au travers de son vote du 29 novembre, son souci de la problématique énergétique. En suivant les arguments des opposants à la prolongation de durée d'exploitation de la centrale de Mühleberg qui montraient que les possibilités de remplacer certaines sources d'énergie par des énergies renouvelables étaient importantes, les Vaudoises et les Vaudois ont donné un signal clair au monde politique. Ce signal doit être suivi d'actions concrètes allant dans ce sens. Ce postulat se propose donc d'aller de l'avant dans un domaine où des mesures efficaces peuvent être prises dans un délai relativement court dans un processus permettant d'intensifier rapidement les investissements de l'Etat, que beaucoup s'accordent aujourd'hui à reconnaître comme insuffisants, tout en accélérant le passage à des énergies renouvelables. Il est un complément à d'autres propositions du groupe socialiste dans le domaine énergétique.

Concernant l'énergie solaire, l'Office fédérale de l'énergie (OFEN) a initié plusieurs recherches et études sur les potentialités d'utilisation de l'énergie solaire dans notre pays et elles sont encore énormes.

Un programme qui concerne la chaleur solaire à température comprise entre 0 et 150 °C et qui s’adresse à la couverture des besoins en chaleur dans les bâtiments par des solutions solaires actives a été initié. La demande en chaleur basse température, entre 10 et 60 °C, dans un pays comme la Suisse représente une part voisine de 50 % de la demande totale en énergie.

Le captage de l’énergie solaire est particulièrement efficace dans cette gamme de température. Le rendement annuel de conversion peut atteindre 50 à 60 % dans les cas favorables pour les meilleurs systèmes. La contribution du solaire thermique au bilan énergétique suisse, par conséquent vaudois, est donc potentiellement très importante. Avec les technologies actuelles, le solaire a sans difficulté la capacité de substituer 60 % de la demande pour l’eau chaude sanitaire et 15 % de la demande nette en chauffage de locaux sans stockage saisonnier.

Si le stockage saisonnier de chaleur devient possible, alors le potentiel de substitution est de 60 à 90 % des besoins en chauffage et eau sanitaire. Ceci signifierait une couverture de près de 40 % de la demande énergétique !

Des données spécifiques sont nécessaire pour estimer l'apport énergétique d'un système particulier; cependant en première approximation on donne entre 300 et 700 kWh par m2 et par année (à titre d'exemple, une installation faite sur des salles de sports à St-Gall a un rendement de 490 kWh/m2) .

Ainsi, chaque mètre carré de capteur solaire économise environ 80 litres de mazout par an.

Partant du constat que les collectivités publiques sont propriétaires de très nombreux bâtiments et installations sportives, dont un nombre important sont de gros consommateurs d'eau chaude sanitaire, un grand potentiel d'économie dans l'usage des énergies fossiles existe.

Grâce à une fréquentation importante, notamment par les écoles et les sociétés sportives, une installation solaire équipant un bâtiment ou une installation sportive publics a par ailleurs un effet démonstratif important.

Il nous paraît donc opportun de réaliser dans les meilleurs délais une étude visant à déterminer ce potentiel en procédant à un inventaire des bâtiments et installations propriété du canton qui pourraient être équipés d'installations solaires thermiques. Une fois cet inventaire réalisé, le Conseil d'Etat publiera un rapport et présentera un calendrier de la mise en application des mesures voulues par le présent postulat.

Parallèlement, il mettra en place un programme d'encouragement et d'aide aux communes pour la réalisation de telles installations.

Souhaite développer et demande le renvoi en commission.

Gland, le 15 décembre 2009. (Signé) Jean-Michel Favez et 37 cosignataires

1 RAPPORT DU CONSEIL D'ETAT

1.1 Rappel de la conclusion du rapport de majorité de la commission

Le postulat demande un rapport mettant en évidence les avantages écologiques et économiques de l’installation de capteurs solaires thermiques sur les bâtiments propriété de l’Etat. Il définira un programme d’aide et d’encouragement des communes.

1.2 Introduction

Dans un souci constant de faire face à l'approvisionnement énergétique nécessaire au fonctionnement des bâtiments publics, le Conseil d'Etat, par le Département des Infrastructures, a mis en place depuis 2005, un Groupe stratégique sur la thématique de l'énergie. Regroupant l'ensemble des services constructeurs et affiliés, le Groupe Energie est présidé par le Service Immeubles, Patrimoine et Logistique (SIPAL). Il a notamment pour mission d'atteindre les objectifs quantitatifs de réduction des consommations, validés par le Conseil d'Etat, et d'augmenter la part d'énergies renouvelables dans les bâtiments propriété de l'Etat de Vaud. Le dernier rapport du Groupe Energie faisant état des résultats de la période 2005-2010 et qui fixe les objectifs à l'horizon 2016 a été publié et distribué en mai 2011. Il est disponible en consultation à l'URL suivante :

http://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/territoire/construction/batiments_publics/dossiers/Groupe_Energie/Rapport_du_Groupe_Energie_2011.pdf

La part des besoins en chaleur dans les bâtiments de l'Etat de Vaud, hormis CHUV et UNIL, couvert par les énergies renouvelables atteint 17%, soit une augmentation proportionnelle de plus de 60% en 5 ans. Lors de rénovation de bâtiments ou d'installations techniques, priorité est donnée aux énergies renouvelables à chaque occasion.

En ce qui concerne la production d'eau chaude par des capteurs solaires, plusieurs installations existent déjà dans des bâtiments de logements ou sont en cours de planification (cures, EMS, hôpitaux). A part quelques cas particuliers tels que Archives cantonales, Protection civile, Domaine de Marcelin, il existe peu d'installations solaires thermiques sur les autres bâtiments de l'Etat de Vaud.

Pour répondre aux attentes des postulants, la section Energie, Environnement et Infrastructures du SIPAL a pu opportunément orienter et accompagner le travail de diplôme réalisé à la HES.SO

d'Yverdon-les-Bains par un des collaborateurs de la section, ingénieur en environnement. Rendu en automne 2011, ce travail a permis de déterminer le potentiel d'installations solaires thermiques sur les bâtiments de l'Etat.

Pour permettre une appréciation objective de la situation actuelle et en raison de l'évolution constante des exigences légales dans la réalisation de bâtiments neufs ou à rénover, les cas ont été traités séparément.

1.3 Etat des lieux

a) Situation pour les nouveaux bâtiments ou à rénover.

Dans le cadre de l'application de la LVEne (Loi vaudoise de l'énergie) et de l'art. 27 de son règlement d'application, les nouvelles constructions doivent couvrir plus de 30% de leurs besoins en eau chaude sanitaire par le biais d'énergies renouvelables. Dans ce cadre, la solution appliquée consiste principalement à installer des capteurs solaires thermiques. Cette solution participe également à atteindre les exigences du standard MINERGIE-ECO® pour les bâtiments neufs ou rénovés, propriété ou majoritairement financés par l'Etat. C'est le cas notamment pour la plupart des établissements médico-sociaux, des prisons ou des bâtiments où la consommation d'eau sanitaire dépasse le seuil de 3 kWh/ m^2/an. Pour le chauffage, les nouvelles constructions ou les rénovations importantes, sont réalisées avec une enveloppe thermique de haute qualité et la couverture du solde des besoins est assurée majoritairement par des énergies renouvelables disponibles durant la période hivernale chaque fois que cela s'avère pertinent (bois, pompe à chaleur, chauffage à distance régional ou local, etc.).
L'utilisation de capteurs solaires thermiques pour le chauffage en période hivernale s'avère généralement inappropriée en raison de l'inadéquation entre la production potentielle et le besoin en chaleur, respectivement du coût économique et environnemental d'un stockage saisonnier.

b) Bâtiments existants ou faisant l'objet d'assainissement énergétique.

Le potentiel d'exploitation de l'énergie solaire thermique dans les bâtiments et installations existantes concerne principalement la production d'eau chaude sanitaire des gros consommateurs et plus particulièrement pour les consommateurs de la période estivale et/ou régulièrement sur l'ensemble de l'année. En effet, le dimensionnement, respectivement l'investissement, et l'efficience d'une installation solaire thermique dépendent fortement de l'adéquation entre production et consommation.

L'étude réalisée sous l'égide du SIPAL et de la HES.SO a permis de dresser tout d'abord un inventaire des objets susceptibles d'accueillir ces installations. Elle est complétée par une évaluation du potentiel économique et écologique de ce type d'installation pour les bâtiments sous gestion.

1.4 Résumé de l'étude du potentiel d'implantation de capteurs solaires thermiques sur les bâtiments de l'Etat de Vaud

Cadre de l'étude

Sur les 450 bâtiments chauffés, propriétés de l'Etat de Vaud et gérés par le Service des Immeubles, du Patrimoine et de la Logistique (SIPAL), ont été pris en compte ceux répondant aux critères suivants :

- Les bâtiments d'enseignement possédant des infrastructures consommatrices d'eau chaude comme les internats, les installations sportives et les réfectoires avec cuisine.
- Les centres d'entretien des routes et les sites du Service des automobiles et de la navigation (SAN) effectuant des lavages de véhicules.
- Les établissements pénitentiaires.

Les bâtiments administratifs ne sont pas considérés en raison de l'abandon progressif du chauffage de l'eau sanitaire pour les lavabos et de la très faible consommation résiduelle nécessaire à la conciergerie et quelques locaux spécifiques justifiant l'usage de l'eau chaude (laboratoire, infirmerie, etc.).

Conformément à la LVEne, ces bâtiments ne doivent pas dépasser une consommation de 3 kWh/m2•an une fois les mesures d'assainissements sanitaires effectuées.

Les bâtiments des cures sont équipés de capteurs solaires à l'occasion de rénovation technique et pour autant que l'installation ne porte pas préjudice à la conservation patrimoniale de l'objet. Une dizaine d'entre elles sont déjà pourvues de capteurs solaires. Le chauffage aux pellets de bois est également privilégié sur ces bâtiments lorsque les conditions de stockage et d'installation sont appropriées.

Les sources de données des consommations proviennent des relevés systématiques effectués dans les bâtiments par le Groupe Energie avec l'outil de suivi énergétique TENER (www.tener.ch), parfois complétés par des enquêtes d'affluence auprès des établissements ou des taux d'occupation, permettant de préciser la nature et la fréquence des besoins en eau chaude pour établir des profils de consommation exploitables.

1.5 Critères de sélection pour le potentiel d'installation

Le rôle d'exemplarité de l'Etat impose des choix crédibles, pragmatiques et reproductibles. C'est pourquoi l'inventaire établi a été analysé de telle manière qu'il soit possible d'en dégager le potentiel tant du point de vue économique qu'environnemental. Les deux indicateurs de rentabilité permettent ainsi d'évaluer clairement et simplement l'adéquation de projets de développement des énergies renouvelables avec les objectifs à long terme visés.

a) Consommation supérieure à 400 litres d'eau chaude par jour

Pour éviter la réalisation de petites installations peu rentables, une limite inférieure à 6'000 kWh/an correspondant à la consommation annuelle de 2 familles de 4 personnes a été retenue. Pour ce type de consommateur, la réalisation d'installation du type "Chauffe-eau solaire" pour maison familiale peut être retenue pour autant que sa mise en œuvre ne soit pas trop complexe et par conséquent trop onéreuse.

b) Rentabilité économique

Sur la base des consommations d'eau chaude et de leur profil annuel, il a été possible de procéder à un pré dimensionnement des installations et une évaluation de leur rentabilité économique sur la durée de vie potentielle.

Pour effectuer ces calculs, il a été tenu compte :

- de l'économie potentielle réalisée sur le vecteur énergétique substitué (mazout, gaz, électricité, bois, etc.)
- d'une durée d'amortissement de l'installation de 15 ans à un taux d'intérêt annuel de 4%
- d'une durée de vie de l'installation de 25 ans
- des frais de maintenance et d'entretien de l'installation

Les estimations ont permis de déterminer l'économie annuelle nette, déduction faite de l'amortissement de l'installation et des frais de maintenance.

c) Amélioration de l'impact environnemental

Une évaluation de la réduction de la charge environnementale définit le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre au travers du nombre de tonnes équivalentes (téq) de CO2 économisées, cette méthode permet de tenir compte notamment du vecteur énergétique substitué (mazout, gaz, électricité, bois, etc.). Cet indicateur rend compte du degré d'opportunité de remplacement d'un vecteur énergétique fossile par un vecteur renouvelable. Si l'on remplace par exemple du mazout, la réduction de gaz à effet de serre sera plus importante que si l'on remplaçait du gaz, de la chaleur du chauffage à distance de Lausanne ou encore du bois. Par exemple, pour la même quantité d'énergie utile disponible, le mazout émet 10 fois plus de gaz à effet de serre que le bois et, par conséquent, l'installation de capteurs solaires a un bien plus grand effet sur l'environnement en

substitution à une chaudière à mazout plutôt qu'une installation avec un combustible déjà peu polluant.

1.6 Résultats

Mis à part les bâtiments administratifs et les cures, un premier tri a permis de retenir 62 bâtiments consommateurs d'eau chaude sanitaire, 37 d'entre eux ont une consommation significative supérieure à l'équivalent de 600 litres de mazout par an (Q_{ww}) et ont fait l'objet d'une analyse plus poussée.

Les résultats des besoins en eau chaude sont résumés dans le tableau ci-dessous :

[# bâtiments correspondant au critère]	Q_{ww} > 30000kWh/an	6000kWh/an < Q_{ww} < 30000kWh/an	Q_{ww} < 6000kWh/an
GR1 Gymnases	7	8	9
GR2 Ecoles professionnelles	2	4	13
GR3 Autres écoles	1	5	1
GR5 Bâtiments judiciaires/militaires	0	1	2
GR6 Centres d'entretien, gendarmeries	2	2	0
GR7 Etablissements pénitentiaires	5	0	0
TOTAL	**17**	**20**	**25**

Tableau 1 : état des lieux des besoins en eau chaude sanitaire

Les bâtiments intéressants ont ensuite été classés par niveau de priorité selon les critères suivants :

Priorité 1 : installation présentant une économie financière nette ET un potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre supérieur à 150 kgeq de CO2 par MWh d'énergie chaleur dédiée à la production d'eau chaude.

Priorité 2 : installation présentant une économie financière nette MAIS un potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre inférieur à 150 kgeq de CO2 par MWh.

Priorité 3 : installation ne présentant pas d'économie, amortissement et entretien déduits ET un potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre inférieur à 150 kgeq de CO2 par MWh.

Les résultats par affectation sont résumés dans le tableau ci-dessous :

[# bâtiments correspondant au critère]	Priorité 1 ET Potentiel de réduction des GES > 150 kg_{eq} CO_2/MWh	Priorité 2 ET Potentiel de réduction des GES < 150 kg_{eq} CO_2/MWh	Priorité 3 CHF/an ET Potentiel de réduction des
GR1 Gymnases	4	3	8
GR2 Ecoles professionnelles	0	3	3
GR3 Autres écoles	0	0	6
GR5 Bâtiments judiciaires/militaires	0	0	1
GR6 Centres d'entretien, gendarmeries	4	0	0
GR7 Etablissements pénitentiaires	5	0	0
TOTAL	**13**	**6**	**18**

Tableau 2 : catégorisation des potentionels de rationalisation économique et environnementale

Les résultats quantitatifs globaux sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	# bâtiments	Surface collecteurs [m^2]	Investissement [CHF]	Réduction des GES annuelle	Economie [CHF/an]	Potentiel de réduction des GES [kg_{eq}
Priorité 1	13	1938	2678'000	297	51'100	200
Priorité 2	6	322	492'000	41	7'300	120
Priorité 3	18	401	738'000	24	-5'900	70

Tableau 3 : symthèse des potentiels de rationalisation économique et environnementale

Commentaires

La mise en place d'un suivi énergétique systématique et ciblé ainsi que la constitution d'une base de données globale regroupant les spécificités de chaque bâtiment a permis de rassembler les données nécessaires à l'établissement d'une analyse crédible du potentiel d'installation de capteurs solaires.

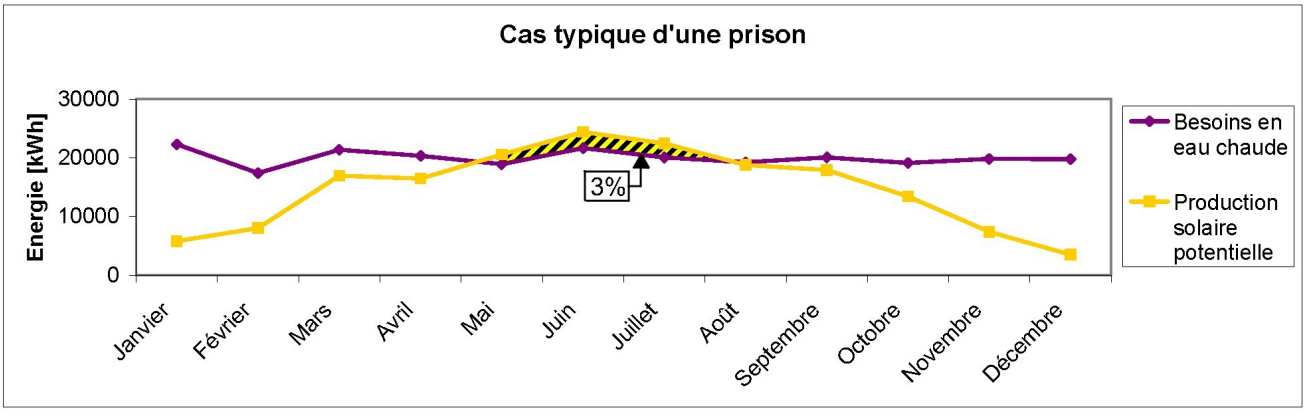
En prenant en considération les priorités 1 et 2 qui représentent une réelle économie des frais de fonctionnement avec une amélioration sensible de l'impact environnemental, 19 bâtiments sont susceptibles de recevoir une installation solaire efficiente totalisant une surface de 2'260 m2. Une fois l'ensemble du potentiel installé, cela représente une économie de près de 180'000 litres de mazout par an.

Le tableau ci-dessous précise les résultats bâtiment par bâtiment, classés par ordre de priorité économique puis environnemental :

Priorité	Complexe	Bâtiment	Energie annuelle pour eau chaude [kWh/an]	Surface de collecteurs [m^2]	Fraction solaire [-]	Réduction des GES annuelle [t_{eq} CO_2/an]	Investissement [CHF]	Economie annuelle [CHF/an]	Potentiel de réduction des GES [kg_{eq} CO_2/MWh]
1	Domaine des E.P.O.	Prison	277'000	368	73%	56.2	496'000	10'500	200
1	Domaine des E.P.O.	Colonie	252'000	335	73%	51.1	452'000	9'500	200
1	La Croisée	La Croisée	252'000	335	73%	47.3	452'000	9'500	190
1	Centre Blécherette	CB1 Gendarmerie + SR	241'000	286	66%	51.8	386'000	8'400	220
1	Bois-Mermet	Bois Mermet	189'000	251	73%	35.5	339'000	7'100	190
2	Gymnase Auguste Piccard	FME BC	128'000	125	54%	17.8	169'000	3'600	140
1	La Tuilière	Prison	88'000	117	73%	16.5	158'000	3'300	190
2	Gymnase Auguste Piccard	FME BI	96'000	87	48%	11.9	123'000	2'000	120
2	Gymnase de Nyon	Bât. princ.	49'000	39	56%	1.4	66'000	1'500	30
1	Gymnase de Chamblandes	Bât. A + Villa est	64'000	81	63%	13.1	116'000	1'400	210
1	Gymnase de Burier	Aula	60'000	78	57%	11.1	113'000	600	190
1	SAN Lausanne	Bât. adm.	28'000	38	73%	6.7	65'000	500	240
1	SAN Aigle	SAN Aigle	16'000	21	73%	3.0	41'000	300	190
2	EPSIC	EPSIC	29'000	30	55%	4.1	54'000	200	140
1	Gymnase de Nyon	Habitation	8'000	11	74%	1.9	25'000	0	240
1	Gymnase de Burier	Habitation	11'000	17	77%	2.2	35'000	0	200
2	HEIG-VD	HEIG-VD	29'000	29	49%	3.7	53'000	0	130
2	CPNV Yverdon	CPNV Yverdon	15'000	12	46%	1.8	27'000	0	120

Tableau 4 : listage des sites prioritaires pour la réalisation d'installations solaires thermiques

Il apparaît très clairement que le potentiel le plus important se situe dans les établissements pénitentiaires. En effet, il est notoire que la consommation d'eau chaude dans ces établissements est particulièrement élevée en raison des nombreux besoins concentrés en un seul lieu et un taux d'occupation constant tout au long de l'année (cuisine, douches, nettoyage, etc.).



Légende :

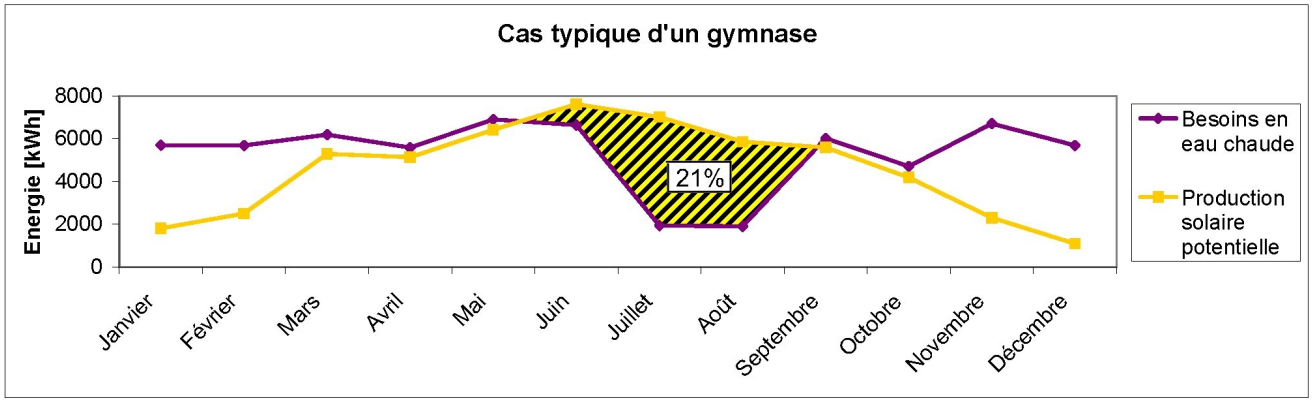
Le graphique ci-dessus montre un usage de 97 % des apports solaires annuels pour un taux de couverture de 70 % des besoins en eau chaude sanitaire.

Le potentiel du Centre Blécherette s'explique par la présence d'une piscine, des douches pour les employés et les besoins de nettoyage du Service des Routes. Dans le cadre de l'assainissement énergétique du bâtiment de la gendarmerie, une installation de capteurs solaires de 78 m2 a été réalisée en 2011, pour le chauffage de la piscine et de l'eau chaude sanitaire pour les besoins de la gendarmerie.

Le complexe du Gymnase Auguste-Piccard abrite les logements de la FME - Fondation Maison pour

Etudiants – et par conséquent offre un important potentiel de production d'eau sanitaire solaire pour ces bâtiments. Une démarche auprès de la FME sera à entreprendre pour définir au préalable une adaptation des décomptes pour l'approvisionnement énergétique de ces bâtiments.

Il est à relever que dans les autres bâtiments scolaires retenus, la justification de la réalisation d'une installation est motivée essentiellement par la consommation d'eau chaude pour la restauration. Le volume et le profil de consommation pour les douches et les installations sportives ne permettent pas à eux seuls de prioriser une réalisation de production solaire efficiente.



Légende :
Le graphique ci-dessus montre un déficit de 21 % de l'usage des apports solaires pour un taux de couverture de 70 % des besoins en eau chaude sanitaire.

1.7 Programme d'aide et d'encouragement des communes

L'application de la LVEne et de son règlement a débouché sur plusieurs mesures qui sont mis en œuvre encourageant directement ou indirectement la réalisation d'installations de capteurs solaires dans les communes.

- Les communes sont encouragées à élaborer un concept énergétique. Pour cela, le Canton met à leur disposition (gratuitement) de la documentation, des outils informatiques, une aide téléphonique et divers cours et séminaires. De plus, une commune qui a élaboré un concept énergétique se voit octroyer par le canton un montant se situant entre 5'000.- et 7'500.- en fonction de sa taille. Ce concept énergétique va bien entendu au-delà des seuls capteurs solaires, ces derniers étant cependant traités (voir fiche en annexe)
- Pour financer leurs propres installations solaires thermiques, les communes bénéficient des mêmes aides financières que tous les citoyens vaudois.

(http://www.vd.ch/fr/themes/environnement/energie/subventions/conditions-doctroi-solaire/) .

- La LSecEl (RSV 730.11, art. 20, al. 2) permet aux communes de prélever une taxe communale spécifique afin, entre autre, de financer l'installation de capteurs solaires thermiques.
- Les communes qui se lancent dans le processus de labellisation "Cité de l'énergie" bénéficient également d'une aide financière de la part du canton. La mise en œuvre d'installations de capteurs solaires thermiques pour la production de chaleur y est bien entendu encouragée.

1.8 Conclusion

Sous la conduite du Groupe Energie, une véritable stratégie est mise en place depuis 2005 dans les bâtiments de l'Etat de Vaud. Outre le suivi et l'optimisation énergétique, l'installation d'énergies renouvelables et l'assainissement exemplaire des enveloppes thermiques sont planifiés dans une perspective à long terme en respectant les principes du développement durable.

Le résultat des cinq premières années publié dans le rapport 2011 du Groupe Energie est encourageant et démontre le bien fondé de la stratégie.

Domaine	Cible 2010	Résultats 2010	Avec les établissements pénitentiaires
Thermique	-10%	-12%	-11%
Electricité	-5%	2%	4%
CO_2	-10%	-19%	-
Energies renouvelables	10%	17%	-
Courant vert	5%	2.5%	-

En ce qui concerne plus particulièrement l'installation de capteurs solaires thermiques dans les nouveaux bâtiments, la production d'eau chaude solaire est mise en œuvre souvent au-delà des exigences de la LVEne, notamment dans les EMS (Etablissements médico-sociaux), l'Etablissement de Détention des Mineurs de Palézieux, le Centre d'Entretien des Routes Nationales de Bursins, les Dépôts des Voyers, etc.

L'installation de chauffe-eau solaires compacts pour des petits consommateurs sont régulièrement intégrés dans les projets d'assainissement techniques, par exemple à la cure de Chavornay ou à l'avenue Riond-Bosson à Morges. Le financement de ces installations est assuré par le biais du budget de fonctionnement ou à intégrer dans des projets de rénovations plus conséquents et représentent une portion congrue de l'investissement consenti.

Lors d'importants assainissements énergétiques, l'intégration de capteurs solaires thermiques est systématiquement examiné, puis mise en œuvre si l'installation est pertinente. Le dernier exemple en date est la réalisation, en 2011, d'une installation de 78 m^2 sur le bâtiment de la gendarmerie du Centre Blécherette où d'importants travaux d'assainissement énergétiques sont en cours d'achèvement (réduction de 87 % des émissions de Co2).

Fort des premiers résultats, le Conseil d'Etat a validé le programme du Goupe Energie 2011-2016. Afin d'atteindre ces objectifs en phase avec sa vision à long terme, des travaux devront être entrepris dans les bâtiments gros consommateurs.

- Diminution de l'indice de la consommation d'énergie (MJ/m2 de surface de référence énergétique) :

- Thermique	-20%
- Consommation d'eau	-10%
- Electricité	-10%
- Equivalent CO2	-20%

- Développement des énergies renouvelables:

- Thermique	25% du parc
- Electricité	5% de courant certifié Naturmade star

Pour la réalisation de nouvelles installations solaires, les études montrent que le plus fort potentiel se situe sur les établissements pénitenciaires. Ces installations permettent de consommer la quasi totalité des apports solaires potentiels, contrairement aux bâtiments d'enseignement où, sauf cas particuliers, une partie importante des gains potentiels restent inutilisés en été.

Déjà inscrit dans le plan d'investissement, l'assainissement énergétique et technique de plusieurs établissements pénitentiaires gros consommateurs d'eau chaude intègre l'installation de quelques 1'400 m ^{2}de capteurs solaires thermiques, soit la quasi-totalité du potentiel prioritaire identifié.

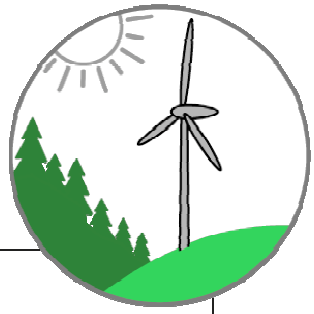
Le Conseil d'Etat entend présenter à ce titre une demande de crédit d'ouvrage avant l'été 2012.

L'installation de capteurs solaires dans les communes vaudoises fait déjà l'objet de nombreux encouragements et les bases légales pour leurs installations se sont assouplies, notamment en limitant les démarches administratives pour les installations de petites tailles.

Un renforcement des conditions cadres concernant l'obligation de recourir aux énergies renouvelables, tant pour la production d'eau chaude que pour le chauffage, est également évalué dans le cadre de la révision de la LVEne actuellement en cours.

Ainsi adopté, en séance du Conseil d'Etat, à Lausanne, le 4 avril 2012.

Le président :	Le chancelier :
P. Broulis	*V. Granjean*



14 ENCOURAGER LA POSE DE CAPTEURS SOLAIRES SUR LES BÂTIMENTS EXISTANTS POUR LA PRÉPARATION D'EAU CHAUDE SANITAIRE.

MESSAGE

L'énergie solaire est abondante et gratuite. Il s'agit d'une source d'énergie idéale pour la préparation de l'eau chaude sanitaire des ménages.

DESCRIPTIF

Le soleil est la source d'énergie renouvelable la plus abondante sur terre ; il convient cependant de l'utiliser à bon escient ! La technologie solaire thermique, qui permet de transformer le rayonnement solaire en chaleur, est notamment utilisée pour la préparation et le préchauffage de l'eau chaude sanitaire (ECS).

1 m^2 de panneau solaire thermique produit environ 400 kWh/an de chaleur. 6 m^2 permettent donc de couvrir annuellement entre 60 et 70 % des besoins en eau chaude sanitaire (ECS) d'une famille de 4 personnes et d'économiser quelque 240 litres de mazout chaque année. Cela représente en moyenne 30 % des besoins en chaleur pour l'ECS en hiver et 100% des besoins en été. Cela permet d'arrêter la chaudière en été et d'améliorer le rendement global de l'installation de chauffage.

Le solaire thermique est LA solution optimale pour la préparation de l'eau chaude et il est possible d'y recourir en tout temps, indépendamment du système de chauffage en fonction.

L'objectif de cette action est d'inciter les propriétaires et les ménages privés à installer des capteurs solaires thermiques pour la préparation de l'eau chaude, en les informant de manière ciblée ou en leur proposant une aide financière.

AVANTAGES / INCONVÉNIENTS

L'énergie solaire est renouvelable, abondante et gratuite. Indépendante des fluctuations des prix des combustibles fossiles, elle améliore la sécurité d'approvisionnement.

La totalité des investissements nécessaires (déduction faite d'éventuelles subventions) peut être déduite des impôts.

Au prix actuel de l'énergie, une installation solaire thermique est proche de la rentabilité. Cependant, pour les rénovations et selon la configuration des lieux, une telle installation peut être onéreuse. Il existe néanmoins des subsides cantonaux intéressants.

Selon la situation du bâtiment et sa notation au recensement architectural, l'installation de capteurs solaires peut être plus ou moins délicate.

CONSEILS POUR LA MISE EN ŒUVRE

Dans un premier temps, la commune doit décider comment elle souhaite inciter les privés à installer des capteurs solaires thermiques : par de l'information et/ou par des aides financières ?

Parallèlement, la commune doit s'assurer qu'aucun règlement communal, notamment en matière d'esthétique des constructions, ne vient restreindre ou entraver la pose de panneaux solaires. Ensuite, il faut déterminer sous quelle forme l'information sera transmise (un tous-ménages ou des séances d'information) et quel en sera le contenu. Il est possible par exemple d'évoquer les aspects énergétiques, légaux, fiscaux et les aides financières disponibles (cantonales et éventuellement communales).

Aspects légaux : La loi sur l'énergie (LVLEne, art 29) précise que les communes encouragent l'énergie solaire et peuvent accorder des dérogations aux règles communales.

Le *Règlement d'application sur l'aménagement du territoire et les constructions* (RLATC, art. 68a) stipule que les capteurs solaires d'une surface maximale de 8 m^2 peuvent ne pas être soumis à autorisation. Les articles 111 LATC et 72d RLATC mentionnent que des panneaux solaires de minime importance peuvent être dispensés d'enquête publique. Dans tous les cas, le requérant doit faire parvenir un dossier à la Municipalité qui décide de la suite à donner. Cette dernière doit transmettre au Canton les dossiers des bâtiments protégés recensés de 1 à 3, les demandes faites dans un rayon de 100 mètres d'un objet sous protection spéciale (inventaire ou classement), les demandes situées dans une entité en objectif de sauvegarde A d'un site ISOS d'intérêt national, les demandes situées dans le périmètre du bien inscrit au patrimoine mondial (Lavaux).

Dans un bâtiment, les investissements destinés à économiser l'énergie et à ménager l'environnement sont déductibles des impôts cantonaux (*Règlement sur la déduction des frais relatifs aux immeubles privés*, RDFIP, 642.11.2). En ce qui concerne l'impôt fédéral direct : dans le cas de rénovations, « le taux de déduction pour les mesures en faveur de l'utilisation rationnelle de l'énergie et du recours aux énergies renouvelables se monte à 50 % les 5 premières années de l'acquisition de l'immeuble et, passé ce délais, à 100 % ». Consulter la publication « Déductions fiscales pour les énergies renouvelables », disponible auprès de l'AEE (Agence des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique).

Le Canton accorde une aide financière pour les installations de capteurs solaires thermiques sur les bâtiments existants et, dans certains cas, sur les bâtiments neufs.

Finalement, une commission consultative à disposition des communes a été mise sur pied par le Conseil d'Etat pour garantir une bonne intégration (aide à la décision) de ces installations au regard de la loi sur la protection de la nature, des monuments et des sites (LVLEne, art. 29).

MISE EN ŒUVRE

Temps	Difficulté	Coût
☐ < 2 ans	☒ simple	☒ bas
☒ 2 à 5 ans	☒ moyen	☒ moyen
☐ > 5 ans	☐ complexe	☐ élevé

Effet sur les indicateurs du profil énergétique

$TC_{bâtiments}$	$TC_{électricité}$	$TC_{mobilité}$	$IB_{bâtiments}$	$IB_{éclairage}$	$IB_{véhicules}$	$ER_{chaleur}$	$ER_{électricité}$
X (CO_2)	X	-	-	-	-	XX	-

Il s'agit d'une action d'incitation et d'encouragement des privés. Par conséquent, il faudra un certain temps et un certain nombre d'installations pour que l'effet soit perceptible sur les indicateurs.

POUR EN SAVOIR PLUS / RÉFÉRENCES

Information générale sur le solaire thermique, coûts et conditions cadres, répertoire des installateurs et constructeurs : www.swissolar.ch. Il est possible d'organiser une soirée d'information en partenariat avec Swisssolar.

L'association Sebasol propose des formations pour l'autoconstruction d'installations solaires thermiques, www.sebasol.ch (adapté en particulier aux villas individuelles).

Informations sur les aides financières cantonales: www.vd.ch/énergie, rubrique subventions

Division Monuments et Sites et Archéologie cantonale (021 316 73 36)

MESURES LIÉES

1, 5, 13, 24, 25, 29

CAS Energies renouvelables : Techniques et applications

Travail de diplôme

Etude du potentiel d'implantation de collecteurs solaires sur les bâtiments propriétés de l'Etat de Vaud

Par Grégory Tornare

Table des matières

Table des matières 2

Abstract 3

1. Inventaire des sites d'implantation 3
   1.1. Cadre de l'inventaire 3
   1.2. Sources de données 3
   1.3. Résultats de l'inventaire 4

2. Potentiel de rationalisation économique et environnementale 6
   2.1. Surface de collecteurs et calcul du taux de couverture solaire 6
   2.2. Evaluation de la rentabilité économique et environnementale 8
   2.3. Résultats de l'analyse du potentiel de rationalisation 11

3. Conclusion 12

4. Références 12

5. Remerciements 12

6. Annexes 13
   6.1. Suivi énergétique TENER 13
   6.2. Besoins en eau chaude standards 14
   6.3. Identification des locaux PLANON 15
   6.4. Schématique de comptage 16
   6.5. Résultats de l'inventaire 17
   6.6. Résultats de l'analyse du potentiel de rationalisation 20

Tableau 1 : catégorisation des résultats de l'inventaire 5
Tableau 2 : analyse des fractions dédiées à l'ECS et des fractions estivales 5
Tableau 3 : données de contrôle de la méthode 7
Tableau 4 : valeurs des prix du kWh d'énergie finale et d'énergie utile par vecteur 8
Tableau 5 : facteurs environnementaux de référence (sources : KBOB, eco-bau, IPB 2009/1) 10
Tableau 6 : catégorisation des bâtiments par niveau de priorité 11
Tableau 7 : synthèse des résultats par niveau de priorité 11

Figure 1 : prix spécifique d'une installation complète 8
Figure 2 : fonctionnalisation du prix spécifique d'une installation complète 9

Abstract

Afin de répondre aux besoins des bâtiments gros consommateurs d'eau chaude sanitaire dans une optique de développement durable, des solutions de production énergétique innovantes et renouvelables doivent être proposées et mises en œuvre. Dans le cas particulier de la préparation d'eau chaude sanitaire, l'installation de capteurs solaires thermiques permet de réduire de façon très importante la charge environnementale induite par les opérations de production de chaleur. La présente étude se propose de dresser tout d'abord un inventaire des objets susceptibles d'accueillir ces installations. Puis, sur la base d'une évaluation des surfaces de collecteurs nécessaires pour couvrir la totalité des besoins en eau chaude sanitaire durant les mois d'été, le potentiel de rationalisation économique et écologique sera évalué.

1. Inventaire des sites d'implantation

1.1. Cadre de l'inventaire

Les bâtiments chauffés propriété de l'Etat de Vaud et gérés par le Service des Immeubles, du Patrimoine et de la Logistique (SIPAL) répondant aux affectations suivantes seront considérés :

- Les bâtiments d'enseignement possédant des infrastructures consommatrices d'eau chaude comme les internats, les installations sportives et les réfectoires avec cuisine.
- Les centres d'entretien des routes et les services des automobiles effectuant des lavages de véhicules.
- Les établissements pénitentiaires.

Les bâtiments administratifs ne sont pas considérés du fait que le canton estime que l'eau froide est suffisante pour les besoins des utilisateurs.

1.2. Sources de données

- Mesures de consommations issues du suivi énergétique mis en place.

Les besoins en eau chaude sanitaire sont évalués sur la base des relevés des indexes hebdomadaires ou mensuels des compteurs de chaleur sur les groupes dédiés à la préparation de l'eau chaude et des indexes des compteurs d'eau alimentant les accumulateurs. Le stockage et le traitement des données se fait sur la plate-forme en ligne TENER (www.tener.ch) mise en place depuis 5 ans. Un exemple de visualisation des données en présenté en *annexe 6.1*. Afin de rendre compte du degré de synchronisme saisonnier, uniquement les mesures faites à un intervalle maximum d'un mois sont considérées.

- Enquête d'affluence aux infrastructures consommatrices d'eau chaude dans les établissements d''enseignements.

Dans les cas où le relevé des consommations d'eau chaude sanitaire ne peut pas être fait ou n'est pas utilisable du fait d'une fréquence de relève trop faible, une enquête d'affluence sous la forme d'un questionnaire a été soumis aux responsables d'exploitation des sites concernés. Le questionnaire a été conçu sous la forme d'un planning hebdomadaire d'occupation des infrastructures et locaux consommateurs d'eau chaude durant l'année scolaire et les vacances estivales. A partir de ces indications, les besoins en eau chaude sont estimés sur la base des valeurs standards suivant le tableau présenté en *annexe 6.2*.

- Données d'occupation des bâtiments d'habitation.

Dans les cas où ni l'une ni l'autre solution présentée ci-dessus n'est possible, les profils de consommation sont estimés en fonction du nombre d'usagers de façon standard suivant les données du tableau présenté en *annexe 6.2* à 40 litres par jour et par occupant.

Afin d'opérer un premier tri des bâtiments susceptibles de consommer une part significative d'énergie pour la préparation d'eau chaude sanitaire parmi les 350 faisant l'objet d'un suivi énergétique, l'occurrence des locaux à typologies spécifiques a été examinée au moyen de la base de données gérant le parc de bâtiments cantonaux. Ceci a été possible grâce à la nouvelle interface graphique PLANON déployée début 2011. Un aperçu de cette fonctionnalité d'identification des locaux est présenté en *annexe 6.3*. La nature du ou des vecteurs énergétiques alimentant les installations productrices de chaleur a également été identifiée sur la base des schématiques de comptage établies pour chaque bâtiment dans le cadre du suivi énergétique systématique d'une grande partie des bâtiments propriété de l'Etat de Vaud. Dans le cas des complexes de bâtiments, la localisation de la production a également été établie sur cette base. Un exemple de schéma de comptage est présenté en *annexe 6.4*.

1.3. Résultats de l'inventaire

A partir des données récoltées, un profil de consommation mensuel a été établi. Ce niveau de précision était requis du fait de la grande variabilité des besoins au cours de l'année dans les établissements d'enseignement. Cela est d'autant plus important compte tenu de l'opposition de phase saisonnière entre les apports solaire et les besoins en eau chaude pour ce type d'affectation. Ont donc été considérés séparément les mois de juin à août présentant le plus haut niveau d'irradiation solaire.

Les bâtiments retenus ont été répartis en 7 groupes distincts suivant leur typologie et sont présentés en *annexe 6.5*.

Les données suivantes sont présentées :

- Noms des bâtiments et des complexes auxquels ils appartiennent
- Valeur moyenne de la consommation annuelle en chaleur totale par complexe de 2005 à 2010 mesurée à partir du suivi énergétique mis en place :

$$Q_{chaleur} = Q_{h,ww} = Q_h + Q_{ww} \qquad \textbf{Équation 1}$$

- Typologie des locaux caractéristiques pour la consommation d'eau chaude sanitaire
- Localisation de la production de l'eau chaude
- Consommation ECS annuelle : volume d'eau consommée mesuré ou estimé
- Consommation chaleur pour ECS annuelle : énergie mesurée ou calculée à partir du volume d'eau chaude préparé suivant la formule :

$$Q_{ww} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ (passage de 12°C à 55°C considéré)} \qquad \textbf{Équation 2}$$

- F_{ECS} : fraction d'énergie chaleur dédiée à la préparation de l'eau chaude calculée au niveau des complexes de bâtiments comme :

$$F_{ECS} = Q_{ww} / Q_{h,ww} \qquad \textbf{Équation 3}$$

- $F_{été}$ = fraction d'énergie chaleur dédiée à la préparation de l'eau chaude durant l'été calculée comme :

$$F_{été} = \left(Q_{ww}^{juin} + Q_{ww}^{juillet} + Q_{ww}^{août}\right) / Q_{ww} \qquad \textbf{Équation 4}$$

Les points suivants sont à noter :

- Les 2 bâtiments de la Fondation Maison pour Etudiants (FME) sont également présentés comme ils appartiennent au même complexe de bâtiments que le gymnase Auguste Piccard et que leur eau chaude est produite dans la salle omnisport du gymnase.
- Gymnase d'Yverdon : passage en cours du mazout à une alimentation bois/gaz naturel (80/20%)
- Gymnase de Nyon : passage prévu du gaz naturel à une alimentation bois/gaz naturel (80/20%)
- COFOP : passage en cours du mazout au CAD
- Bâtiments d'enseignement : 8 litres d'eau chaude par repas chaud servi et 5 litres par douche (moyenne constatée dans les bâtiments bénéficiant d'un suivi énergétique de l'ECS) ont été compté dans le cas des estimations de consommation à partir des enquêtes d'affluence aux infrastructures consommatrices d'eau chaude sanitaire.
- Etablissements pénitentiaires : consommation d'eau en fonction du nombre d'occupants et fixée à 70 litres par jour et par détenu. Ceci représentant l'objectif à atteindre dans le futur.
- Centres d'entretien des routes : le CERN Rennaz et le CERN Yverdon ne sont pas considérés par manque de données de consommation.

Analyse des besoins en eau chaude sanitaire :

[# bâtiments correspondant au critère]	Q_{ww} > 30000kWh/an	6000kWh/an < Q_{ww} < 30000kWh/an	Q_{ww} < 6000kWh/an
GR1 Gymnases	7	8	9
GR2 Ecoles professionnelles	2	4	13
GR3 Autres écoles	1	5	1
GR5 Bâtiments judiciaires/militaires	0	1	2
GR6 Centres d'entretien, gendarmeries	2	2	0
GR7 Etablissements pénitentiaires	5	0	0
TOTAL	17	20	25

Tableau 1 : catégorisation des résultats de l'inventaire

Intervient ici le premier critère d'éligibilité : le besoin en eau chaude sanitaire annuel doit être significatif. La limite a été fixée à 6000 kWh/an, ce qui correspond à la consommation annuelle de 2 familles de 4 personnes. 37 bâtiments sur les 62 retenus ont donc une consommation annuelle significative et seront traités dans l'analyse de potentiel.

Analyse des besoins relatifs énergétiques et saisonniers en eau chaude sanitaire :

	F_{ECS}	$F_{été}$
Bâtiment/complexe d'enseignement avec infrastructures sportives et de restauration	5%	10%
Bâtiment/complexe d'enseignement avec infrastructures sportives uniquement	3%	10%
Bâtiment/complexe d'enseignement avec restauration uniquement	2%	15%
Logement / établissements pénitentiaires	20%	23%
Centres d'entretien / gendarmeries	4%	24%

Tableau 2 : analyse des fractions dédiées à l'ECS et des fractions estivales

La fraction d'énergie chaleur dédiée à la préparation de l'eau chaude par rapport aux besoins totaux en chaleur est calculée au niveau des complexes de bâtiments. Les résultats montrent que les logements ont une valeur standard de 20% alors que les besoins relatifs en eau chaude sanitaire

dans le cas des bâtiments d'enseignement et des centres d'entretien sont bien moindres. Les complexes de bâtiments regroupant infrastructures sportives et de restauration présentent un besoin relatif plus important avec 5%. Ce sont les gros gymnases du canton avec celui d'Yverdon, de Beaulieu, de Burier, de Nyon et de Chamblandes. Il est à noter que les cafétérias (sans service de plats chauds) ne sont pas considérées comme des infrastructures de restauration.

La fraction d'énergie chaleur dédiée à la préparation de l'eau chaude durant les mois de juin à août est calculée au niveau des bâtiments décomptant plus de 6000 kWh/an de besoins en eau chaude. Une demande constante sur l'année donne un taux de 25%, ce qui se retrouve pour les logements et les centres d'entretien. Par contre, la faible affluence aux infrastructures sportives et de restauration durant les relâches estivales se traduit par un faible taux de besoin relatif temporel en eau chaude de juin à août. On notera que la valeur grisée de 10% n'est pas représentative car elle ne résulte que d'une seule mesure. Par contre, il apparaît que les bâtiments contenant un réfectoire plutôt qu'une salle de sport semblent présenter plus de constance dans les besoins en eau chaude suivant la saison.

2. Potentiel de rationalisation économique et environnementale

2.1. Surface de collecteurs et calcul du taux de couverture solaire

Afin de proposer une évaluation de la rentabilité tant du point de vue économique qu'environnemental, il est nécessaire de déterminer la surface de collecteurs et le taux annuel de couverture solaire correspondant aux besoins spécifiques en eau chaude sanitaire pour chacun des 37 bâtiments considérés.

Il n'est pas possible d'utiliser les abaques standards compte tenu de la grande variation des besoins en cours d'année. L'effort particulier mis à déterminer les besoins mensuels sur l'ensemble de l'année va permettre d'utiliser une méthode personnelle simple et applicable systématiquement sur un grand nombre de bâtiments différents.

Objectif : déterminer la surface de capteur minimum nécessaire afin de couvrir la totalité des besoins en eau chaude sanitaire entre juin et août.

Méthode : sur la base des données d'irradiation disponibles sur la base de données SoDa (www.soda-is.com) et des besoins mensuels en eau chaude, détermination de la surface minimum nécessaire pour couvrir les besoins entre juin et août. Application de celle-ci à l'ensemble de l'année afin de déterminer le taux de couverture annuelle.

Base de calcul :

$$S_{\min} = \max\left[\frac{Q_{ww}^{juin}}{I_{juin}\cdot\eta};\frac{Q_{ww}^{juillet}}{I_{juillet}\cdot\eta};\frac{Q_{ww}^{août}}{I_{août}\cdot\eta}\right] \qquad \textbf{Équation 5}$$

avec : $S_{\min}$ = surface minimum de collecteur pour couvrir les besoins entre juin et août $\left[m^2\right]$

Q_{ww}^{i} = besoin en ECS du mois i $\left[kWh\right]$ (mesuré ou calculé selon **Équation 2**)

$I_i =$ irradiation moyenne durant le mois i pour un azimut de 180° (SUD), un tilt de 40°, un albédo de 0.2 et les coordonnées GPS de la ville sur le territoire de laquelle se trouve le bâtiment (données de l'année 2005 utilisées) $\left[kWh/m^2\right]$

η = rendement de l'installation complète estimé constant sur l'année à 40% $\left[-\right]$ (collecteurs et installation sanitaire de qualité standard)

$$Q_{SOL}^{i} = \min\left[I_i\cdot\eta\cdot S_{\min};Q_{ww}^{i}\right] \qquad \textbf{Équation 6}$$

avec : Q_{SOL}^{i} = énergie solaire utilisable durant le mois i $[kWh]$
A titre de contrôle, le calcul de l'énergie solaire maximum captable dans ces conditions est présenté :

Localisation	Lausanne
Azimut	180°
Tilt	40°
Albedo	0.2

	I [Wh/m^2]	Q_{sol} max [kWh/m^2]
janvier	48434	19
février	66931	27
mars	141360	57
avril	137232	55
mai	171492	69
juin	203400	81
juillet	187265	75
août	156612	63
septembre	149328	60
octobre	111898	45
novembre	61560	25
décembre	29165	12
TOTAL		586

Tableau 3 : données de contrôle de la méthode

La valeur obtenue est bien centrée dans l'intervalle standard compris entre 500 et 700 kWh/m^2.

Finalement, le taux de couverture solaire annuelle peut être calculé selon :

$$F_{SOL} = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{SOL}^{i}}{Q_{ww}}$$ **Équation 7**

avec : F_{SOL} = taux de couverture solaire annuel $[-]$

2.2. Evaluation de la rentabilité économique et environnementale

Avec les surfaces de collecteurs et le taux de couverture solaire annuelle connus, il est possible d'évaluer les coûts d'investissement et les indices environnementaux avant et après la mise en place du système solaire. La connaissance du niveau de rentabilité économique et environnementale permet alors de sélectionner judicieusement les sites possédant les meilleures opportunités de rationalisation.

2.2.1. Rentabilité économique

- Coût du kWh initial

Les coûts initiaux du kWh tenant compte de l'entretien des installations de production ont été pris suivant les valeurs suivantes :

		$Q_{h,ww}$ < 500000 kWh/an		$Q_{h,ww}$ > 500000 kWh/an	
	η_{ww} [-]	Prix du kWh final [ct/kWh]	Prix du kWh utile [ct/kWh]	Prix du kWh final [ct/kWh]	Prix du kWh utile [ct/kWh]
CAD SIL	1	10	10	10	10
GN, MZ, BOIS	0.82	14	17	12	15
EL	0.9	25	28	25	28

Tableau 4 : valeurs des prix du kWh d'énergie finale et d'énergie utile par vecteur

- Investissement pour l'installation solaire

L'investissement nécessaire a été évalué au moyen du graphique ci-dessous :

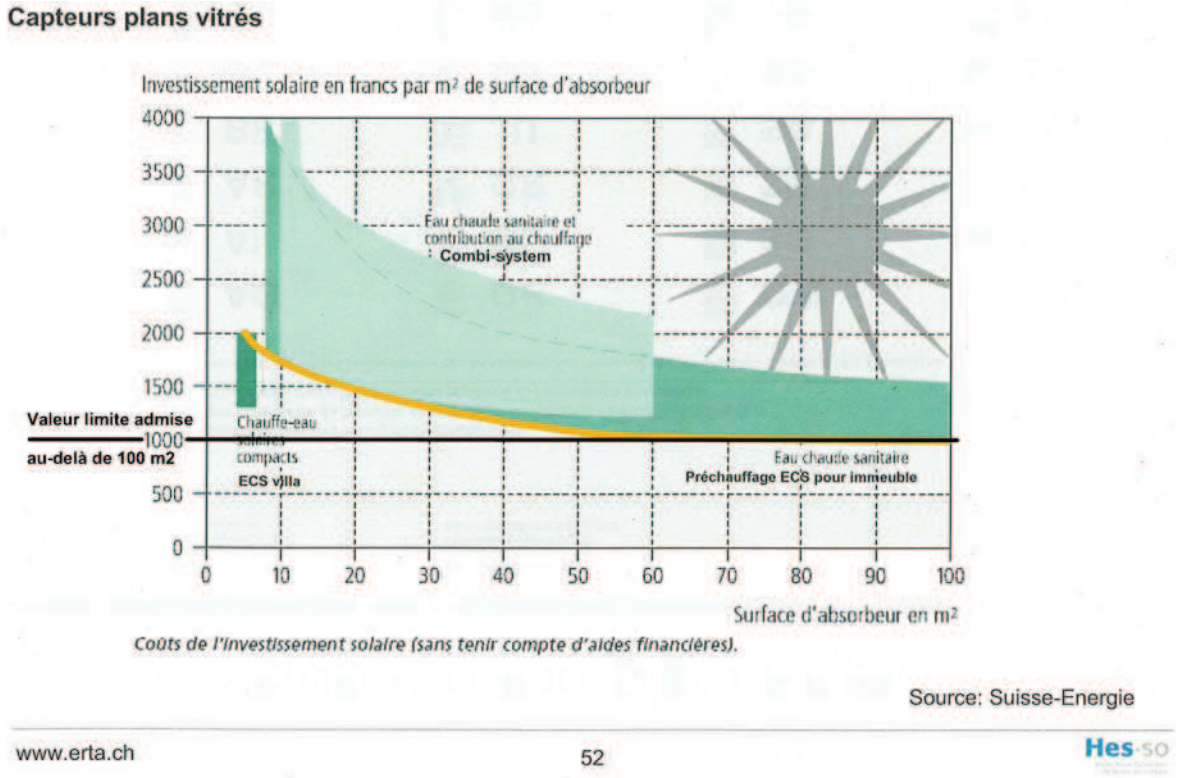


Figure 1 : prix spécifique d'une installation complète

Les valeurs de prix au m^2 ont été prises sur la courbe jaune et traduisent le meilleur prix négocié. Ont été ajoutés 3% du coût pour l'entretien de l'installation. Pour les besoins des calculs, la courbe à été fonctionnalisée par une exponentielle et une valeur plancher de 1000 CHF/m^2 a été admise au-delà de 100m^2 de collecteurs.

.

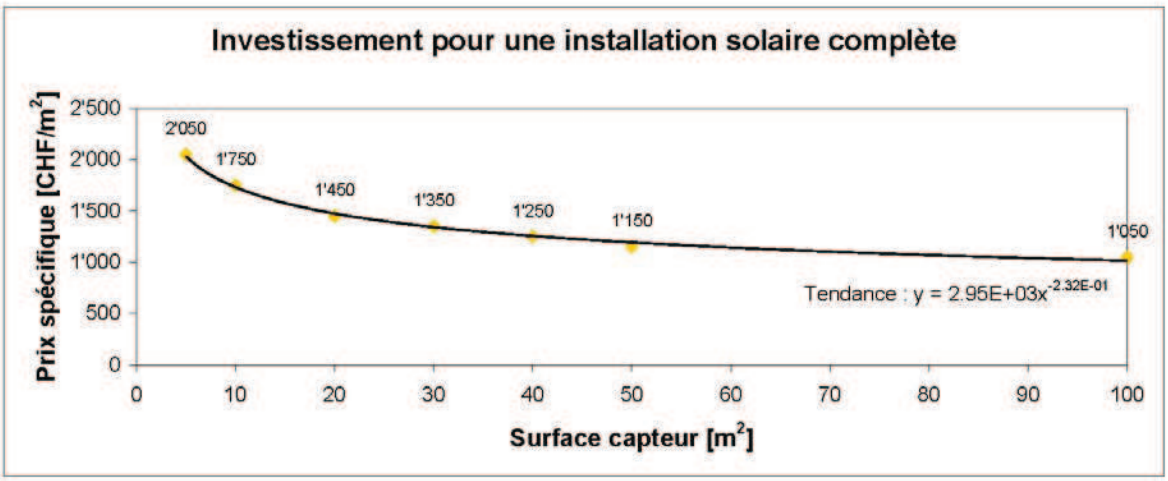


Figure 2 : fonctionnalisation du prix spécifique d'une installation complète

Les calculs financiers tiennent compte de plus d'un amortissement sur 15 ans à un taux d'intérêt annuel de 4%. Ces chiffres sont reportés dans la colonne "investissement" des tableaux de résultats.

- Coût du kWh final

Le coût final du kWh consommé pour la préparation de l'eau chaude sanitaire a été calculé en se basant sur une durée de vie de l'installation solaire de 25 ans comme suit :

$$C_{final} = \frac{C_{investissement}}{25ans \cdot Q_{ww}} + (1 - F_{SOL}) \cdot C_{initial} \qquad \textbf{Équation 8}$$

avec : C_{final} = le coût final du kWh consommé $[CHF / kWh]$

$C_{investissement}$ = le coût de l'investissement solaire avec entretien et amortissement $[CHF]$

$C_{initial}$ = le coût initial du kWh consommé $[CHF / kWh]$

- Rentabilité économique

La rentabilité économique est évaluée comme suit :

$$\eta_{économique} = (C_{final} - C_{initial}) \cdot Q_{ww} \qquad \textbf{Équation 9}$$

avec : $\eta_{économique}$ = rentabilité économique $[CHF / an]$

Comme la durée de vie des installations de production est déjà comptée dans les coûts du kWh, une rentabilité économique nulle signifie que l'investissement de base sera juste amorti. Une valeur négative exprime la somme nette économisée annuellement grâce à l'installation du système et une valeur positive exprime la perte nette annuelle engendrée par l'installation du système.

2.2.2. Rentabilité environnementale

- Potentiel de réchauffement climatique initial

Le potentiel de réchauffement climatique est calculé à partir des facteurs environnementaux suivants :

	η_{ww} [-]	Vecteur énergétique	Facteur d'émission de gaz à effet de serre sur l'énergie finale k_{CO2} [kg/MJ]
Bois bûches	0.75	Bûches	0.00347
Bois pellets	0.85	Pellets	0.01010
Bois plaquettes sèches	0.75	Plaquettes sèches	0.00300
CAD (Lausanne)	1	Mix Lausanne	0.02790
Electrique	0.9	Mix élec Suisse	0.04280
Gaz à condensation	0.92	Gaz naturel	0.06690
Gaz sans condensation	0.82	Gaz naturel	0.06690
Mazout à condensation	0.88	Mazout EL	0.08250
Mazout sans condensation	0.82	Mazout EL	0.08250
Solaire thermique	1	Soleil et Mix Suisse	0.0101

Tableau 5 : facteurs environnementaux de référence (sources : KBOB, eco-bau, IPB 2009/1)

$$GWP_{initial} = \frac{3.6\ MJ/kWh \cdot Q_{ww} \cdot k^{i}_{CO2}}{\eta^{i}_{ww}} \qquad \textbf{Équation 10}$$

avec : $GWP_{initial}$ = le potentiel de réchauffement climatique initial $\left[kg_{eq}CO_2/an\right]$

k^{i}_{CO2} = le facteur d'émission de gaz à effet de serre du vecteur i sur l'énergie finale $\left[kg/MJ\right]$

η^{i}_{ww} = rendement de l'installation de production d'ECS pour le vecteur i $\left[-\right]$

- Potentiel de réchauffement climatique final

Le potentiel de réchauffement climatique final est calculé comme suit :

$$GWP_{final} = \frac{(1-F_{SOL})\cdot Q_{ww} \cdot k^{i}_{CO2}}{\eta^{i}_{ww}} + \frac{F_{SOL} \cdot Q_{ww} \cdot k^{SOL}_{CO2}}{\eta^{SOL}_{ww}} \qquad \textbf{Équation 11}$$

avec : k^{SOL}_{CO2} = le facteur d'émission de gaz à effet de serre de l'énergie solaire $\left[kg/MJ\right]$

η^{SOL}_{ww} = rendement de l'installation de production d'ECS solaire $\left[-\right]$

- Rentabilité environnementale

La rentabilité environnementale est évaluée comme le rapport entre le montant investi et la masse de rejet de gaz à effet de serre que cet investissement à permis d'éviter :

$$\eta_{environnementale} = (-1)\cdot \frac{C_{investissement}}{25ans \cdot \Delta GWP} \qquad \textbf{Équation 12}$$

avec : $\eta_{environnemental}$ = la rentabilité environnementale $\left[CHF\ investi/kg_{eq}CO_2\ économisé\right]$

$\Delta GWP = GWP_{final} - GWP_{initial}$ = masse de gaz à effet de serre économisé $\left[kg_{eq}CO_2/an\right]$

2.3. Résultats de l'analyse du potentiel de rationalisation

Les résultats globaux pour les 37 bâtiments retenus sont présentés en annexe 6.6.

En plus des valeurs calculées ci-dessus, sont présentés les vecteurs énergétiques alimentant les installations de production. Leurs dénominations sont les suivantes :

MZ : huile de chauffage extra légère
GN : gaz naturel
BOIS : pellets ou plaquettes de bois
CAD SIL : chauffage à distance de Pierre-de-Plan

La synthèse des résultats obtenus est présentée dans les 2 tableaux ci-dessous :

[# bâtiments correspondant au critère]	Priorité 1 η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé	Priorité 2 η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé	Priorité 3 η écono.> 0 CHF/an
GR1 Gymnases	2	5	8
GR2 Ecoles professionnelles	0	3	3
GR3 Autres écoles	0	0	6
GR5 Bâtiments judiciaires/militaires	0	0	1
GR6 Centres d'entretien, gendarmeries	3	1	0
GR7 Etablissements pénitentiaires	5	0	0
TOTAL	10	9	18

Tableau 6 : catégorisation des bâtiments par niveau de priorité

3 niveaux de priorités ont été définis suivant l'adéquation de chaque site avec les 2 critères de rentabilité économique et de rentabilité environnementale.

	# bâtiments	Surface collecteurs [m^2]	Investissement [CHF]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investi/t_{eq} CO_2 économisé]
Priorité 1	10	1936	2'633'000	-296	-53'800	350
Priorité 2	9	324	537'000	-41	-4'600	500
Priorité 3	18	401	738'000	-24	5'900	1250

Tableau 7 : synthèse des résultats par niveau de priorité

L'indice de rentabilité économique intègre en un seul chiffre : le degré d'économie par rapport au coût du vecteur existant, le niveau de simultanéité entre besoins et apports solaire et l'opportunité d'économie d'échelle. Le seuil est tout simplement la transition entre une installation rentable ou non. Si ce n'est pas le cas, le bâtiment passe immédiatement en priorité 3. Vu la variation exponentielle du prix d'une installation au m^2 de capteur, une petite installation sur un site qui consomme peu d'énergie durant les mois d'été n'est pas du tout rentable, même en comptant un prix du kWh fossile à 14 ct au lieu de 12 ct. Pour les bâtiments particuliers dont le chauffage de l'eau se fait à l'électricité, la limite de rentabilité est atteinte pour une surface de capteurs beaucoup plus faible.

Cet indice propose donc un "go / no go" décisionnel des mesures à prendre.

La rentabilité environnementale intègre quant à elle : le degré d'économie par rapport à la charge environnementale du vecteur existant, le niveau de simultanéité entre besoins et apports solaire et l'opportunité d'économie d'échelle. Elle donne la priorité au changement des vecteurs énergétiques les moins performants du point de vue environnemental : le mazout et le gaz naturel. On constate par contre que le solaire thermique peut difficilement rivaliser avec des vecteurs tels que le bois ou la chaleur à distance du réseau lausannois (60/40% déchets urbains/gaz naturel).

Cet indice propose donc une priorisation des mesures à prendre.

Les résultats liés à l'inventaire établi montrent que 19 bâtiments sont susceptibles d'être équipés par un total de 2260 m^2 de collecteurs : 5 bâtiments appartenant à des gymnases, 2 logements collectifs, 3 écoles professionnelles, 4 bâtiments appartenant à des centres d'entretien des routes et 5 établissements pénitentiaires.

Pour un investissement de 3170 KCHF, il est possible d'éviter annuellement l'émission de 337 tonnes de gaz carbonique et de réaliser une économie annuelle de 58 KCHF sur les frais de fonctionnement.

3. Conclusion

C'est grâce à la mise en place d'un suivi énergétique systématique et ciblé ainsi que la constitution d'une base de données globale regroupant les spécificités de chaque bâtiment qu'il a été possible de rassembler les données nécessaires à l'établissement d'un inventaire précis de la situation énergétique du parc immobilier. Sur cette base solide, un post-traitement judicieux des données permet de définir des objectifs ambitieux, rationnels et réalistes. Le Service Immeubles, Patrimoine et Logistique de l'Etat de Vaud, par l'intermédiaire de la section Energie, Environnement, Infrastructures, vise donc d'atteindre les valeurs de consommation énergétique liées au secteur du bâtiment et établies selon le concept de la société à 2000 Watt à l'horizon de 2050.

Les mesures à entreprendre doivent aller bien au-delà du simple soucis de l'apparence et du "green washing" que l'on peut constater dans le secteur privé. Le rôle d'exemplarité de l'Etat impose des actions inscrites dans le souci du pragmatisme. C'est pourquoi l'inventaire établi a été analysé de telle manière qu'il soit possible d'en dégager le potentiel de rationalisation tant du point de vue économique qu'environnemental. Les deux indicateurs de rentabilité proposés par cette étude permettent de juger clairement et simplement de l'adéquation de projets de développement des énergies renouvelables avec les objectifs à long terme visés.

On notera que le principal obstacle à une généralisation de grande envergure de l'emploi de collecteurs solaires pour la préparation de l'eau chaude sanitaire reste encore le prix des dispositifs eux-mêmes. Les procédés actuels de dépose de couches sélectives par voie électro-chimique sont encore trop onéreux et péjorent également le bilan environnemental de cette application.

Lausanne, le 28.10.2011

Grégory Tornare, ing. dipl. EPF

4. Références

- Production d'eau chaude solaire – Office fédéral des questions conjoncturelles
- Support de cours CAS ERTA
- Base de données d'irradiation : www.soda-is.com
- Logiciel de suivi énergétique de l'Etat de Vaud TENER, URL : www.tener.ch
- Logiciel de base de données du SIPAL PLANON
- Base de données KBOB, Eco-Bau, IPB 2009/1

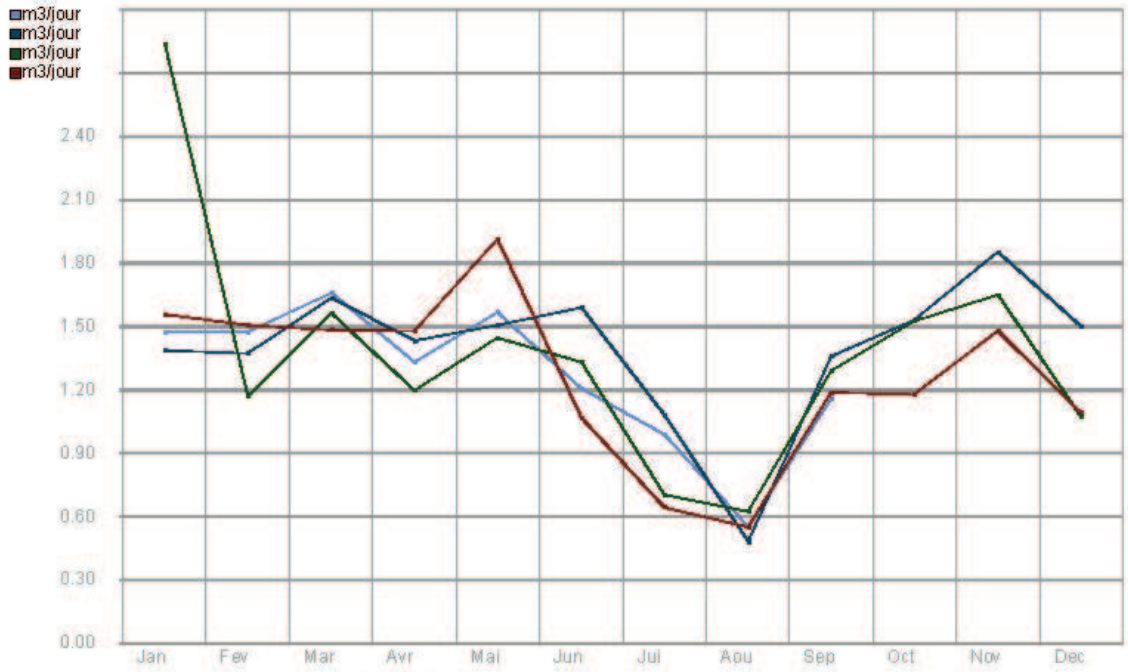
5. Remerciements

- Mes collègues du service des immeubles pour leurs apports et conseils
- Les concierges et responsables d'infrastructures pour leurs relevés de consommations
- Tous ceux qui ont œuvré à la mise en place des logiciels PLANON et TENER

6. Annexes

6.1. Suivi énergétique TENER

HEIG-VD - Consommation en eau chaude sanitaire



Courbe	Année	Batiment - description fluide - adresse fluide
1	2011	HEIG-VD - 4415-General EC (Eau chaude/MANU) (Consommation)
2	2010	
3	2009	
4	2008	

Courbe	1	2	3	4
Année	2011	2010	2009	2008
Jan	1.47	1.39	2.84	1.56
Fév	1.48	1.38	1.17	1.51
Mar	1.66	1.64	1.57	1.48
Avr	1.33	1.44	1.20	1.48
Mai	1.57	1.51	1.45	1.92
Jun	1.21	1.59	1.33	1.07
Jui	0.99	1.09	0.71	0.65
Aoû	0.55	0.48	0.63	0.55
Sep	1.16	1.36	1.29	1.19
Oct		1.53	1.53	1.18
Nov		1.86	1.65	1.48
Déc		1.50	1.07	1.09

Service Immeubles, Patrimoine et Logistique - Departement des infrastructures
www.vaud.ch - T 41 21 316 73 00 - F 41 21 316 73
info.sipal@vd.ch

6.2. Besoins en eau chaude standards

USTSC **Manuel 5** **Eau de boisson**

Besoin en eau

Tableau: Besoins en eau chaude

Exploitation des mesures et statistiques de consommation d'eau chaude
(On tiendra compte des valeurs importantes, ainsi que des contraintes externes à l'ouvrage)

	Catégorie	Usage	Demande d'eau chaude en litres, à 60 °C / jour (dm^3 / d) Valeur moyenne par unité **			
			Unité	1	2	3
Unités relatives à des personnes	**Logement**					
	Villa Appartement en PPE	équipement simple équipement moyen équipement de luxe	P P P	30 35 40	35 40 50	40 50 60
	Immeuble résidentiel	logement simple logement de luxe	P P	30 35	35 40	45 50
	Cuisines professionnelles	cuisson, rinçage, lavage de la vaisselle				
	Bars à café Tea-rooms	occupation faible forte occupation	S S	15 20	20 30	30 40
	Cafés-restaurants Restaurants	occupation faible occupation moyenne forte occupation	S S S	10 20 25	15 25 30	25 35 45
		équipement: (sans cuisines ni buanderies)				
	Auberges Hôtels «Aparthôtels»	simple 2* classe 1** classe de luxe	L L L L	30 40 60 80	40 50 80 100	50 70 100 150
	Homes d'enfants Etablissements pour personnes âgées	équipement simple équipement simple	L L	40 30	50 40	60 50
	Hopitaux Cliniques	équipement médico-téchniques: simples moyens importants	L L L	50 70 100	60 80 120	80 100 150
Unités relatives à des choses	**Restaurants**	menus simples, service sur assiettes menus, jusqu'à 3 services menus, 4 services et plus	M / R M / R M / R	6 8 12	8 10 15	10 12 20
	Douches		On admet: eau chaude à 45 °C aux points de soutirage			
		scolaires dans les installations sportives	D / P D / P	30 35	35 40	40 50
		dans les usines où les travaux sont: peu salissants très salissants	D / P D / P	45 50	50 60	60 70
	Bains	baignoires normales grandes baignoires baignoires hydrothérapie bassins de grand volume	B / P B / P B / P B / P	120 150 250 400	150 180 300 500	180 200 400 600

** Si la température réelle de l'eau diffère de celle que l'on a admise à 60 °C, on déterminera les valeurs en litre par jour (l / d) en appliquant au calcul le facteur approprié.

Unités relatives à des personnes
P = personnes
S = siège
L = lit

Unités relatives à des choses
M / R = menu par repas
* D / P = douche par personne
* B / P = bain par personne
* par utilisation

1 Valeur minimale à respecter lors du dimensionnement de l'installation

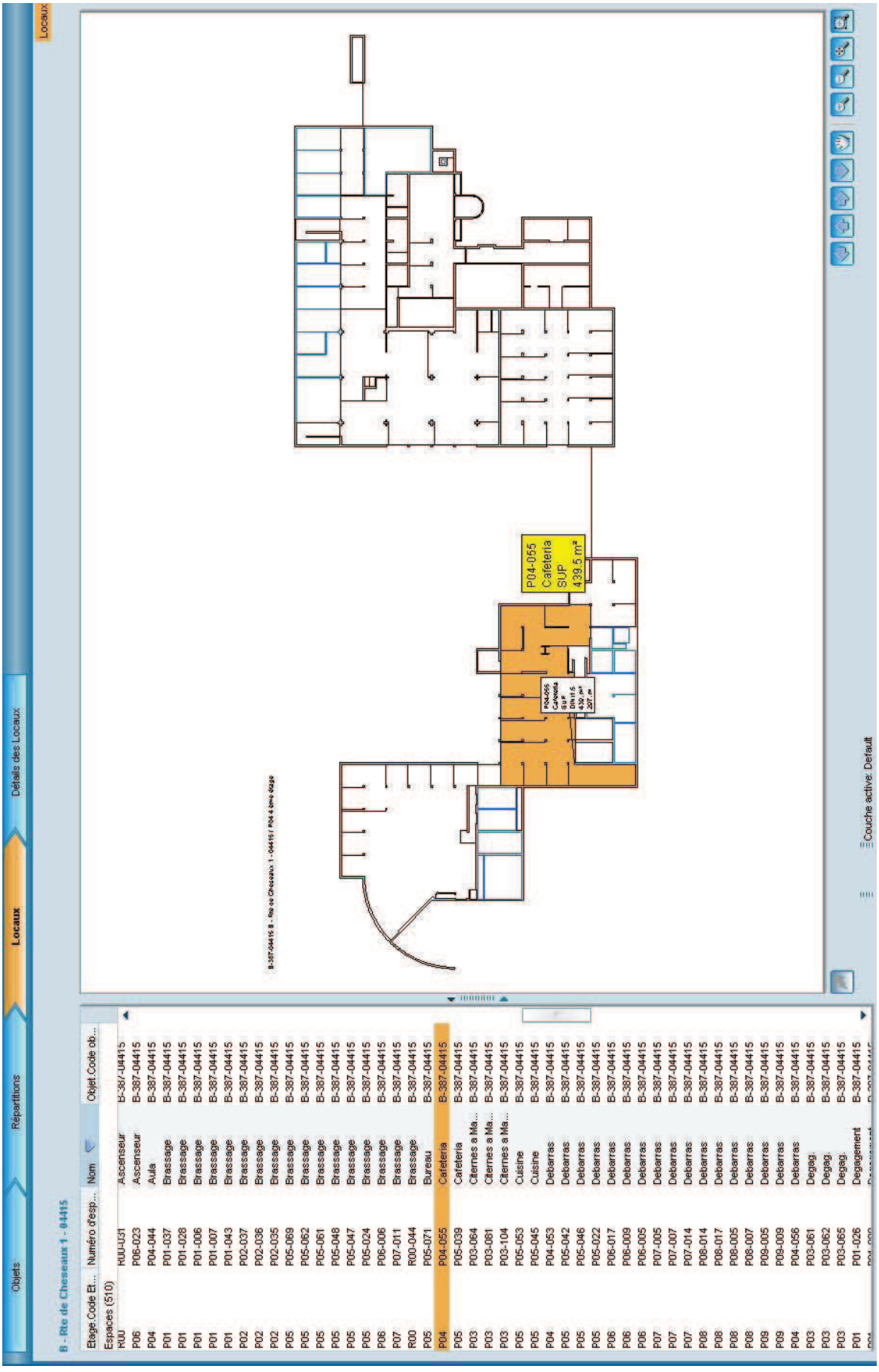
2 Valeur moyenne servant de base au calcul de la demande annuelle totale d'eau chaude et d'énergie thermique

3 Valeur de pointe servant de base au calcul du volume et de la puissance des chauffe-eau.

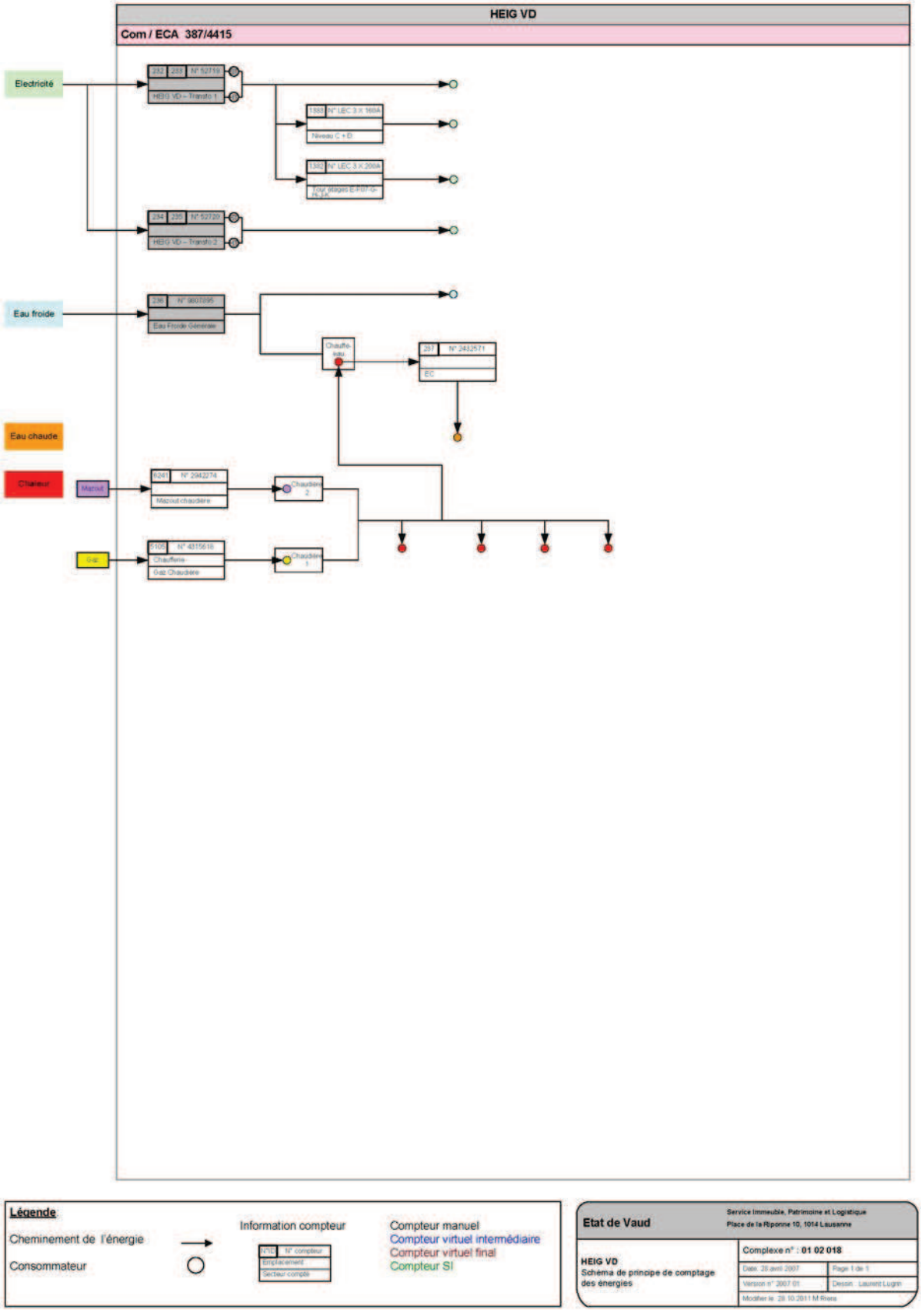
5. 93 [8]

© USTSC

6.3. Identification des locaux PLANON



6.4. Schématique de comptage



6.5. Résultats de l'inventaire

GR1 Gymnases

	Complexe - Nom	Nom bâtiment	Conso. chaleur annuelle Moyenne 2005-2010 [kWh/an]	Typologie des locaux	Production	Conso. ECS annuelle [m^3@55°C]	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	F_{ECS} [-]	$F_{été}$ [-]
	GYMNASE AUGUSTE PICCARD	Bât. princ.	1'491'000	classes, cafétéria	locale	100	5'000	2%	17%
	GYMNASE AUGUSTE PICCARD	Villa Bleu		logement 4 pers.	locale	60	3'000		25%
	GYMNASE AUGUSTE PICCARD	Salle Omnisport		sport, douches	locale		15'400		10%
	GYMNASE AUGUSTE PICCARD	FME BC	358'000	logement collectif	sur salle omnisport	2'570	128'000	36%	22%
	GYMNASE AUGUSTE PICCARD	FME BI	268'000	logement collectif	sur salle omnisport	1'930	96'000	36%	20%
	GYMNASE D YVERDON	Réfectoire Bât.D	1'375'000	réfectoire	locale	690	34'000	5%	12%
	GYMNASE D YVERDON	Salle de sport Bât.E		sport, douches	locale, chal. de bât. D	710	35'000		12%
	GYMNASE DE BEAULIEU	Bât. princ.	892'000	classes, réfectoire 170p	locale	300	15'000	2%	17%
	GYMNASE DE BEAULIEU	Salle sport est		sport, douches	locale	80	4'000		13%
	GYMNASE DE BEAULIEU	Salle sport ouest		sport, douches	locale	40	2'000		18%
	GYMNASE DE BURIER	Aula	2'046'000	réfectoire, laverie, douches	locale, chal.de bât. princ.	1'200	60'000	4%	10%
	GYMNASE DE BURIER	Habitation		4 appart.	locale	230	11'000		25%
	GYMNASE DE BURIER	Salle omnisport		sport, douches	locale, chal.de bât. princ.	240	12'000		10%
	GYMNASE DE CHAMBLANDES	Bât. A + Villa EST	604'000	classes, réfectoire, infirmerie	locale, chal. de bât. A	1'280	64'000	12%	16%
	GYMNASE DE CHAMBLANDES	Salle omnisport		sport, douches	locale, chal. de bât. A	100	5'000		6%
	GYMNASE DE CHAMBLANDES	Villa OUEST		2 appart.	locale, chal. de bât. A	120	6'000		25%
	GYMNASE DE LA CITE	Salles de classes	1'098'000	classes, logement 2 pers.	locale	30	1'000	1%	25%
	GYMNASE DE LA CITE	Anc. salle de sport		sport, douches	locale	210	10'000		10%
	GYMNASE DE LA CITE	Ancienne cure		logement 3 pers.		50	2'000		25%
	GYMNASE DE LA CITE	Nouv. salle de sport		sports, douches	locale	40	2'000		6%
	GYMNASE DE NYON	Bât. princ.	1'442'000	Classes, réfectoire, sport, douches		980	49'000	4%	10%
	GYMNASE DE NYON	Habitation		3 appart.	locale	170	8'000		25%
	GYMNASE DU BUGNON	Bât. princ.+ Ancienne salle de sport	863'000	classes, appart., cafétéria, sport, douches	locale	480	24'000	4%	13%
	GYMNASE DU BUGNON	Nouv. salle de sport		sport, douches	locale	270	13'000		10%

9	Q_{ww}<6000kWh/an
8	6000kWh/an<Q_{ww}<30000kWh/an
7	30000kWh/an<Q_{ww}

GR2 Ecoles professionnelles

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Conso. chaleur annuelle Moyenne 2005-2010 [kWh/an]	Typologie des locaux	Production	Conso. ECS annuelle [m^3@55°C]	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	F_{ECS} [-]	$F_{été}$ [-]
CEPV	CEPV	1'082'000	cafétéria, logement concierge	locale	260	13'000	1%	10%
CPNV	CPNV	1'704'000	réfectoire	locale	300	15'000	1%	14%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Atelier	1'465'000	atelier		10	500	3%	8%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Bât. d enseignement		classes, douches		30	1'000		10%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Bât. du jardin		classes, habitation		130	6'000		20%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Bât. princ.		classes, habitation		210	10'000		19%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Château		habitation		130	6'000		24%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Ferme		élevage, habitation		30	1'000		36%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Réfectoire		réfectoire, cuisine		350	17'000		19%
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Villa		habitation		70	3'000		25%
ECOLE DE COUTURE	Ecole de Couture	232'000	classes, cafétéria	locale	30	1'000	0%	17%
Ecole de la Sante	Ancienne écol.Chimie	669'000	classes, 4 chambres	locale	60	3'000	0%	25%
EPCA	EPCA	265'000	classes, sport, douches	locale	190	9'000	3%	13%
EPCL RUE DU MIDI 13	Ecole de Commerce	244'000	classes, appart. concierge	locale		1'000	0%	21%
EPSIC	EPSIC	1'718'000	classes, réfectoire, appart. concierge	locale (2 chauffes-eau)	580	29'000	2%	17%
ETML	Bât. Nord	1'736'000	classes	locale	40	2'000	1%	19%
ETML	Bât. Sud		classes, 2 appart. concierge	locale	310	15'000		14%
ETVJ	Ancien et nouveau bât.	641'000	classes, appart. concierge	locale	130	6'000	1%	20%
HEIG-VD	HEIG-VD	2'874'000	classes, réfectoire, appart. concierge	locale	580	29'000	1%	16%

13	Q_{ww}<6000kWh/an
4	6000kWh/an<Q_{ww}<30000kWh/an
2	30000kWh/an<Q_{ww}

GR3 Autres écoles

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Conso. chaleur annuelle Moyenne 2005-2010 [kWh/an]	Typologie des locaux	Production	Conso. ECS annuelle [m^3@55°C]	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	F_{ECS} [-]	$F_{été}$ [-]
CHATEAU DE CAROUGE	Château de Carrouge	462'000	classes, habitations	locale	210	10'000	2%	19%
COFOP	Bât. locatif	1'277'000	6 appartements	locale	360	18'000	8%	25%
COFOP	EVAM		30 chambres, réfectoire, buanderie		1'440	72'000		25%
COFOP	Villa directeur		habitation 8pers.		120	6'000		25%
ECOLE DE PERFECTIONNEMENT	OPTI centre	474'000	classes, réfectoire	locale	140	7'000	1%	14%
HEP AV.COUR 25 27 33	Bât. princ.	2'237'000	réfectoire, douches	locale	220	11'000	1%	10%
HEP AV.COUR 25 27 33	Salle de sport		sport, douches	locale	170	8'000		10%

1	Q_{ww}<6000kWh/an
5	6000kWh/an<Q_{ww}<30000kWh/an
1	30000kWh/an<Q_{ww}

GR5 Bât. judiciaires-militaires

	Complexe - Nom	Nom bâtiment	Conso. chaleur annuelle Moyenne 2005-2010 [kWh/an]	Typologie des locaux	Production	Conso. ECS annuelle [m^3@55°C]	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	F_{ECS} [-]	$F_{été}$ [-]
	ARSENAL MORGES	Bât. 3	936'000	dépôt, douches, buanderie	locale	170	8'000	1%	21%
	ARSENAL YVERDON	Arsenal Yverdon		1 appart.	locale	60	3'000		25%
	TRIBUNAL CANTONAL LAUSANNE	Signal 08	458'000	cafétéria, 1 appart., 3 cellules		60	3'000	1%	25%

2	Q_{ww}<6000kWh/an
1	6000kWh/an<Q_{ww}<30000kWh/an
0	30000kWh/an<Q_{ww}

GR6 Centres d'entretien-Gendarm

	Complexe - Nom	Nom bâtiment	Conso. chaleur annuelle Moyenne 2005-2010 [kWh/an]	Typologie des locaux	Production	Conso. ECS annuelle [m^3@55°C]	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	F_{ECS} [-]	$F_{été}$ [-]
	CENTRE BLECHERETTE	CB1 Gendarmerie	6'521'000	bureau, chambres, douches, piscine, garage avec lavage véhicules	depuis CB1 SR		241'000	4%	22%
	CENTRE BLECHERETTE	CB1 SR			locale				
	SAN AIGLE	SAN Aigle	287'000	lavage véhicules			16'000	6%	25%
	SAN LAUSANNE	Bât. adm.	911'000	lavage véhicules			28'000	3%	25%

0	Q_{ww}<6000kWh/an
2	6000kWh/an<Q_{ww}<30000kWh/an
2	30000kWh/an<Q_{ww}

GR7 Etablissements pénit

	Complexe - Nom	Nom bâtiment	Conso. chaleur annuelle Moyenne 2005-2010 [kWh/an]	Typologie des locaux	Production	Conso. ECS annuelle [m^3@55°C]	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	F_{ECS} [-]	$F_{été}$ [-]
	BOIS-MERMET	Bois Mermet	969'000	chambres, douches, réfectoire	locale	3'780	189'000	20%	25%
	DOMAINE DES E.P.O.	Colonie	2'760'000	chambres, douches, réfectoire	locale	5'040	252'000	19%	25%
	DOMAINE DES E.P.O.	Prison		chambres, douches, réfectoire	locale	5'540	277'000		25%
	LA CROISEE	La Croisée	1'816'000	chambres, douches, réfectoire	locale	5'040	252'000	14%	25%
	PRISON LA TUILIERE	Prison	1'205'000	chambres, douches, réfectoire	locale	1'760	88'000	7%	25%

0	Q_{ww}<6000kWh/an
0	6000kWh/an<Q_{ww}<30000kWh/an
5	30000kWh/an<Q_{ww}

6.6. Résultats de l'analyse du potentiel de rationalisation

GR1 Gymnases

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Vecteur pour ECS	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	Surface de collecteurs [m²]	F_{sol} [-]	$GWP_{initial}$ [t_{eq} CO_2/an]	GWP_{final} [t_{eq} CO_2/an]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Variation GWP [-]	Investissement [CHF]	Coût initial [ct/kWh]	Coût final [ct/kWh]	Variation coût [-]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investit/t_{eq} CO_2 économisé]
GYMNASE AUGUSTE PICCARD	Salle Omnisport	GN	15'400	10	33%	4.5	3.2	-1.3	-29%	23'000	15	16	7%	200	700
GYMNASE AUGUSTE PICCARD	FME BC	GN	128'000	125	54%	37.6	19.8	-17.8	-47%	169'000	15	12	-19%	-3600	380
GYMNASE AUGUSTE PICCARD	FME BI	GN	96'000	87	48%	28.2	16.3	-11.9	-42%	123'000	15	13	-14%	-2000	410
GYMNASE D'YVERDON	Réfectoire Bât D	BOIS/GN (80/20%)	34'000	44	53%	2.9	2.0	-0.9	-31%	73'000	15	16	4%	200	3'230
GYMNASE D'YVERDON	Salle de sport Bât E	BOIS/GN (80/20%)	35'000	45	52%	3.0	2.1	-0.9	-30%	74'000	15	16	4%	200	3'240
GYMNASE DE BEAULIEU	Bât. princ.	CAD SIL	15'000	16	55%	1.5	1.0	-0.5	-35%	33'000	10	13	33%	500	2500
GYMNASE DE BURIER	Aula	MZ	60'000	78	57%	21.7	10.6	-11.1	-51%	113'000	15	14	-7%	-600	410
GYMNASE DE BURIER	Habitation	GN	11'000	17	77%	3.2	1.1	-2.2	-67%	35'000	17	17	-2%	0	640
GYMNASE DE BURIER	Salle omnisport	MZ	12'000	16	59%	4.3	2.0	-2.3	-53%	33'000	15	17	14%	300	570
GYMNASE DE CHAMBLANDES	Bât. A + Villa EST	MZ	64'000	81	63%	23.2	10.0	-13.1	-57%	116'000	15	13	-15%	-1400	350
GYMNASE DE LA CITE	Anc. salle de sport	CAD SIL	10'000	13	55%	1.0	0.7	-0.4	-35%	29'000	10	16	61%	600	3'290
GYMNASE DE NYON	Bât. princ.	BOIS/GN (80/20%)	49'000	39	56%	4.2	2.9	-1.4	-32%	66'000	15	12	-20%	-1500	1'920
GYMNASE DE NYON	Habitation	MZ	8'000	11	74%	2.9	1.0	-1.9	-67%	25'000	17	17	0%	0	520
GYMNASE DU BUGNON	Bât. princ.+ Ancienne salle de sport	CAD SIL	24'000	23	49%	2.4	1.7	-0.8	-31%	44'000	10	12	24%	600	2'340
GYMNASE DU BUGNON	Nouv salle de sport	CAD SIL	13'000	17	56%	1.3	0.8	-0.5	-36%	35'000	10	15	52%	700	3'000

8 | η écono > 0 CHF/an
5 | η écono <= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé
2 | η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé

GR2 Ecoles professionnelles

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Vecteur pour ECS	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	Surface de collecteurs [m²]	F_{sol} [-]	$GWP_{initial}$ [t_{eq} CO_2/an]	GWP_{final} [t_{eq} CO_2/an]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Variation GWP [-]	Investissement [CHF]	Coût initial [ct/kWh]	Coût final [ct/kWh]	Variation coût [-]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investit/t_{eq} CO_2 économisé]
CEPV	CEPV	GN	13'000	11	40%	3.8	2.5	-1.3	-35%	25'000	15	17	11%	200	750
CPNV	CPNV	GN	15'000	12	46%	4.4	2.6	-1.8	-40%	27'000	15	15	2%	0	610
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Bât. princ.	MZ	10'000	12	52%	3.6	1.9	-1.7	-47%	27'000	15	18	20%	300	640
DOMAINE DE GRANGE-VERNEY	Réfectoire	MZ	17'000	20	53%	6.2	3.2	-2.9	-48%	40'000	15	16	10%	200	550
EPSIC	EPSIC	GN	29'000	30	55%	8.5	4.4	-4.1	-48%	54'000	15	14	-5%	-200	530
HEIG-VD	HEIG-VD	GN	29'000	29	49%	8.5	4.9	-3.7	-43%	53'000	15	15	0%	0	580

8 | η écono > 0 CHF/an
3 | η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé
0 | η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé

GR3 Autres écoles

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Vecteur pour ECS	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	Surface de collecteurs [m^2]	F_{sol} [-]	$GWP_{initial}$ [t_{eq} CO_2/an]	GWP_{final} [t_{eq} CO_2/an]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Variation GWP [-]	Investissement [CHF]	Coût initial [ct/kWh]	Coût final [ct/kWh]	Variation coût [-]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investi/t_{eq} CO_2 économisé]
CHATEAU DE CAROUGE	Château de Carrouge	GN	10'000	13	57%	2.9	1.5	-1.5	-50%	29'000	17	19	11%	200	790
COFOP	Bât. locatif	CAD SIL	18'000	23	73%	1.8	1.0	-0.8	-47%	44'000	10	12	25%	400	2'090
COFOP	EVAM	CAD SIL	72'000	96	73%	7.2	3.9	-3.4	-47%	133'000	10	10	1%	100	1'580
ECOLE DE PERFECTIONNEMENT	OPTI centre	CAD SIL	7'000	8	55%	0.7	0.5	-0.2	-35%	20'000	10	16	59%	400	3'240
HEP AV.COUR 25 27 33	Bât. princ.	GN	11'000	14	57%	3.2	1.6	-1.6	-50%	30'000	15	17	16%	300	740
HEP AV.COUR 25 27 33	Salle de sport	GN	8'000	10	53%	2.3	1.3	-1.1	-46%	23'000	15	19	24%	300	840

6	η écono.> 0 CHF/an
0	η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé
0	η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé

GR5 Bât. judiciaires-militaires

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Vecteur pour ECS	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	Surface de collecteurs [m^2]	F_{sol} [-]	$GWP_{initial}$ [t_{eq} CO_2/an]	GWP_{final} [t_{eq} CO_2/an]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Variation GWP [-]	Investissement [CHF]	Coût initial [ct/kWh]	Coût final [ct/kWh]	Variation coût [-]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investi/t_{eq} CO_2 économisé]
ARSENAL MORGES	Bât. 3	MZ	8'000	10	61%	2.9	1.3	-1.6	-55%	23'000	15	17	16%	200	580

1	η écono.> 0 CHF/an
0	η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé
0	η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé

GR6 Centres d'entretien-Gendarm

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Vecteur pour ECS	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	Surface de collecteurs [m^2]	F_{sol} [-]	$GWP_{initial}$ [t_{eq} CO_2/an]	GWP_{final} [t_{eq} CO_2/an]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Variation GWP [-]	Investissement [CHF]	Coût initial [ct/kWh]	Coût final [ct/kWh]	Variation coût [-]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investi/t_{eq} CO_2 économisé]
CENTRE BLECHERETTE	CB1 Gendarmerie	MZ	241'000	286	66%	87.3	35.5	-51.8	-59%	386'000	15	12	-23%	-8'400	300
CENTRE BLECHERETTE	CB1 SR	MZ													
SAN AIGLE	SAN Aigle	GN	16'000	21	73%	4.7	1.7	-3.0	-64%	41'000	17	15	-13%	-300	550
SAN LAUSANNE	Bât. adm.	MZ	28'000	38	73%	10.1	3.5	-6.7	-66%	65'000	15	13	-11%	-500	390

0	η écono.> 0 CHF/an
1	η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé
3	η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé

GR7 Etablissements pénit

Complexe - Nom	Nom bâtiment	Vecteur pour ECS	Conso. chaleur ECS annuelle [kWh/an]	Surface de collecteurs [m^2]	F_{sol} [-]	$GWP_{initial}$ [t_{eq} CO_2/an]	GWP_{final} [t_{eq} CO_2/an]	ΔGWP [t_{eq} CO_2/an]	Variation GWP [-]	Investissement [CHF]	Coût initial [ct/kWh]	Coût final [ct/kWh]	Variation coût [-]	Rentabilité économique [CHF/an]	Rentabilité environnementale [CHF investi/t_{eq} CO_2 économisé]
BOIS-MERMET	Bois Mermet	GN	189'000	251	73%	55.5	20.0	-35.5	-64%	339'000	15	11	-25%	-7'100	380
DOMAINE DES E.P.O.	Colonie	GN/MZ(30%)	252'000	335	73%	79.2	28.1	-51.1	-65%	452'000	15	11	-25%	-9'500	350
DOMAINE DES E.P.O.	Prison	GN/MZ(30%)	277'000	368	73%	87.0	30.9	-56.2	-65%	496'000	15	11	-25%	-10'500	350
LA CROISEE	La Croisée	GN	252'000	335	73%	74.0	26.7	-47.3	-64%	452'000	15	11	-25%	-9'500	380
PRISON LA TUILIERE	Prison	GN	88'000	117	73%	25.8	9.3	-16.5	-64%	158'000	15	11	-25%	-3'300	380

0 η écono.> 0 CHF/an
0 η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.> 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé
5 η écono.<= 0 CHF/an ; η enviro.< 400 CHF investi /t_{eq} CO_2 économisé