



Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques

PROJET PILOTE CHAUFFE-EAU SOLAIRES DOMESTIQUES

Performance des chauffe-eau solaires installés au Québec - Rapport final

Avant-Propos

Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) a mis en place en juin 2009 un projet pilote résidentiel visant à appuyer l'implantation de chauffe-eau solaires au Québec. Environ 70 clients résidentiels y ont participé. Dans le cadre de ce projet, le Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec (LTE) a été mandaté pour instrumenter, mesurer et analyser la performance de plusieurs installations solaires afin, ultimement, de quantifier les économies d'énergie in-situ des chauffe-eau solaires opérés dans un contexte québécois. La performance de 23 des chauffe-eau solaires installés chez les participants a été mesurée durant une année par le LTE. Ce mesurage a officiellement débuté le 1^{er} août 2010 pour la majorité des clients et elle s'est terminé le 1^{er} août 2011, soit un an plus tard. Le présent rapport détaille la méthodologie et les résultats obtenus.

Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune

**Performance des chauffe-eau solaires installés au Québec
dans le cadre du projet pilote sur les chauffe-eau solaires domestiques
du Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques – rapport final**

Rapport final

préparé par :

Alain Moreau, ing., M.Sc.A.
(chargé de projet, chercheur)

François Laurencelle, Ph.D.
(chercheur)

Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec

pour :

Pascal Lê-Huu, ing.
(chargé de programme)

Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Mars 2012

Sommaire

Le Bureau de l'Efficacité et de l'Innovation Énergétique (BEIE) du Québec a mis en place en juin 2009 un projet pilote visant à favoriser l'implantation des chauffe-eau solaires au Québec. Environ 70 clients résidentiels ont adhéré à ce projet. Dans le cadre de ce projet, le Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec (LTE) a été mandaté pour instrumenter, mesurer et analyser la performance de plusieurs installations solaires afin, ultimement, de quantifier les économies d'énergie *in-situ* des chauffe-eau solaires opérés dans un contexte québécois. Un total de 23 clients ont été recrutés par le BEIE pour participer à la campagne de mesurage du LTE. Cette campagne de mesurage a officiellement débuté le 1^{er} août 2010 pour la majorité des clients et elle s'est terminée le 1^{er} août 2011, soit un an plus tard.

Les 23 installations solaires de ce projet sont disséminées sur un vaste territoire de la province de Québec, avec toutefois une concentration d'installations dans la zone comprise entre Montréal et la frontière américaine. De ces 23 installations, il y en a 20 dont les panneaux solaires proviennent de 2 manufacturiers. Ces deux manufacturiers sont canadiens. En outre, 17 des 23 installations furent réalisées par le même entrepreneur, ce qui signifie que l'échantillonnage est fortement teinté de la couleur d'un seul maître d'œuvre au niveau du dimensionnement et de la qualité de l'installation.

Selon l'installation, le nombre de panneaux solaires varie entre 1 et 4. Pour une majorité d'installations toutefois (17/23), la quantité de panneaux solaires est de 2, ce qui équivaut à une surface de panneaux d'environ 6 m². Par ailleurs, le volume de stockage (excluant celui du chauffe-eau domestique) d'une majorité de clients, soit 56 %, est égal ou supérieur à 90 litres par m² de capteurs. Ce dernier résultat dénote une tendance au surdimensionnement des réservoirs tampons par rapport à la règle de design généralement admise qui se situe entre 38 et 100 litres par m² de capteur. De fait, environ 43 % des installations sont dotées de 2 réservoirs tampons, en plus du chauffe-eau domestique.

Une grande diversité de configurations d'installation compose les 23 installations solaires de ce projet. Ainsi : 1/ il y a 4 installations hybrides qui servent à la fois au chauffage de l'eau chaude sanitaire et au chauffage du bâtiment ; 2/ il y a 3 installations dont le chauffe-eau domestique est un chauffe-eau direct au lieu d'un chauffe-eau domestique conventionnel ; 3/ il y a 4 installations dont la source d'énergie du chauffe-eau domestique est de l'énergie fossile (gaz ou mazout) ; 4/ il y a 2 installations faisant appel à un très gros réservoir de stockage (>1000 litres) servant au préchauffage de l'eau chaude sanitaire et au chauffage du bâtiment.

Les constats suivants se dégagent de cette campagne de mesurage :

- les mois d'été ont significativement été plus ensoleillés que les mois d'hiver pendant la campagne de mesurage. Ainsi, le rayonnement solaire journalier incident mesuré sur les panneaux solaires a été en moyenne de 5.2 kWh/m²/j en juillet mais de seulement 1.6 kWh/m²/j en décembre. Globalement, sur la base des données de Montréal, la période de mesurage a été moins ensoleillée (-10.5 %) qu'une année moyenne. La température extérieure moyenne fut cependant la même que celle d'une année moyenne ;
- pour l'ensemble de la période d'analyse, la consommation d'eau chaude journalière moyenne de tous les ménages a été de 143 litres par jours. Il s'agit d'une consommation d'eau en deçà de la valeur moyenne d'environ 186 l/j des ménages québécois ;
- le nombre d'heures mensuel de fonctionnement des systèmes solaires s'abaisse significativement en passant des mois de l'été vers l'hiver. Ainsi, en juillet, les systèmes solaires ont fonctionné en moyenne pendant 6.7 heures par jour, comparativement à 1.2 heure par jour en décembre. Ceci est cohérent avec la réduction du rayonnement solaire ;
- en accord avec la variation saisonnière du rayonnement solaire, la température de stockage dans les réservoirs tampons varie selon la période de l'année, étant supérieure à 50 °C en été en moyenne pour le groupe, et inférieure à 20 °C en décembre et janvier. Par ailleurs, bien qu'occasionnel, la température de stockage dans le réservoir tampon peut être supérieure à 70 °C ;
- la couverture solaire des installations, ou taux d'économie, varie significativement entre les clients, se situant entre 21 et 68 % sur une base annuelle selon le client. A titre comparatif, la littérature annonce souvent des économies se situant entre 35 et 70 %. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet se situent donc dans l'ordre de grandeur de ce qui est généralement véhiculé dans la littérature. Les clients ayant une faible consommation d'eau chaude ont, d'une façon générale, une couverture solaire plus élevée puisque les besoins énergétiques en eau chaude sont plus facilement comblés par les apports solaires. Il y a une diminution significative de la couverture solaire au fur et à mesure que l'on passe des mois d'été vers les mois d'hiver. Pendant l'été, elle est supérieure à 60 % en moyenne pour le groupe, tandis qu'elle est inférieure à 20 % en décembre et janvier. En moyenne pour le groupe de client, les chauffe-eau solaires ont permis de sauver 40 % des besoins énergétiques annuels.

La plage des économies énergétiques annuelles des 23 installations est vaste, se chiffrant entre 378 et 2084 kWh/an. La moyenne annuelle pour le groupe est de 1215 kWh, ce qui se traduit en économie moyenne annuelle de 94 \$ pour le groupe. Comme anticipé, les économies sont plus importantes pendant les mois d'été. De fait, en moyenne, les économies mensuelles des mois d'avril à août sont presque 3 fois supérieures à celles des mois de décembre et janvier. Au global, c'est 76 % des économies annuelles qui se réalisent pendant la période estivale comprise entre avril et novembre (inclusivement). La disparité des économies d'énergie au sein du groupe est attribuable à plusieurs facteurs (surface des panneaux, ensoleillement, consommation d'eau et profil, volume de stockage). L'étude des résultats indique cependant une corrélation entre la consommation d'eau et les économies d'énergie annuelles.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier toutes les personnes ayant été impliquées dans l'exécution de cette étude. En particulier, l'auteur tient à remercier les techniciens Raynald Brassard et Alain Dion et l'électricien Constant Gélinas du LTE pour avoir instrumenté l'ensemble des sites. Aussi, l'auteur désire souligner l'effort inlassable de Pascal Lê-Huu en tant que coordonnateur pour le BEIE du projet pilote sur les chauffe-eau solaires domestiques au Québec.

Table des matières

	Pages
INTRODUCTION	1
1. DESCRIPTION DES INSTALLATIONS SOLAIRES	3
1.1 Installation typique d'un chauffe-eau solaire et glossaire terminologique	3
1.2 Liste des installations	5
1.3 Description technique des installations	9
1.4 Infrastructure de mesurage	13
2. ANALYSE DES DONNÉES DE MESURAGE	17
2.1 Conditions de température et d'ensoleillement	17
2.2 Consommation d'eau chaude des clients et température de l'aqueduc	20
2.3 Nombre d'heures d'opération des systèmes solaires	24
2.4 Température de stockage dans les réservoirs tampons	30
2.5 Impact des chauffe-eau solaires sur la consommation et la facture énergétique	33
CONCLUSION	43
RÉFÉRENCES	47
ANNEXE A : POINTS DE MESURE ET SCHÉMA D'INSTALLATION DES CHAUFFE-EAU SOLAIRES	49

Liste des figures

	Pages
Figure 1.1 : Nomenclature et schéma d'une installation type d'un chauffe-eau solaire.....	3
Figure 1.2 : Schéma des systèmes d'échange de chaleur vers le réservoir tampon	4
Figure 1.3 : Distribution géographique des installations	7
Figure 1.4 : Orientation des panneaux solaires (180° = sud)	10
Figure 1.5 : Volume de stockage des réservoirs tampons par unité de surface des panneaux solaires.....	12
Figure 1.6 : Instrumentation de base des chauffe-eau solaires	14
Figure 1.7 : Photos des points de mesure	15
Figure 2.1 : Température extérieure et rayonnement solaire incident sur les panneaux, selon le mois (valeurs moyennes, maximales et minimales des 23 clients).....	19
Figure 2.2 : Données climatiques d'une année moyenne vs données climatiques réelles de la période de mesurage (région de Montréal)	19
Figure 2.3 : Nomenclature des variables pour réaliser un bilan de masse et d'énergie sur une vanne de mélange	21
Figure 2.4 : Nombre d'occurrences des consommations d'eau chaude journalières de tous les clients pendant la campagne de mesurage	23
Figure 2.5 : Profils journaliers moyens de consommation d'eau pendant la campagne de mesurage (ASHRAE [10], Becker [11])	23
Figure 2.6 : Température de l'aqueduc selon le mois (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients).....	24
Figure 2.7 : Taux d'opération des chauffe-eau solaire selon le mois (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)	26
Figure 2.8 : Carte de suivi de la durée quotidienne d'opération de la pompe (heures/jour).....	29
Figure 2.9 : Température mensuelle de stockage (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients).....	31
Figure 2.10 : Incidence de la température de l'eau dans le réservoir tampon sur la température de l'eau au sommet du réservoir domestique (exemple du client REQ-041).....	33
Figure 2.11 : Économie d'énergie mensuelle (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients).....	38
Figure 2.12 : Relation entre les économies d'énergie annuelles et la consommation d'eau moyenne journalière	39
Figure 2.13 : Couverture solaire mensuelle (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)	41

Liste des tableaux

	Pages
Tableau 1.1 : Liste des clients participant à la campagne de mesurage	7
Tableau 1.2 : Période de mesurage et commentaires pour chacun des clients	8
Tableau 1.3 : Description des installations.....	9
Tableau 2.1 : Rayonnement solaire total mensuel incident sur les panneaux solaires	18
Tableau 2.2 : Température extérieure moyenne.....	18
Tableau 2.3 : Consommation d'eau chaude de chacun des clients.....	22
Tableau 2.4 : Nombre d'heures mensuel d'ensoleillement et de fonctionnement de la pompe des systèmes solaires.....	27
Tableau 2.5 : Taux d'opération mensuel des chauffe-eau solaires	27
Tableau 2.6 : Température moyenne mensuelle de stockage dans le réservoir tampon.....	31
Tableau 2.7 : Consommation énergétique avant et après l'installation des chauffe-eau solaires....	37
Tableau 2.8 : Économie associée aux installations solaires	38
Tableau 2.9 : Couverture solaire associée aux installations solaires	40

Introduction

Le Bureau de l'Efficacité et de l'Innovation Énergétique (BEIE), anciennement appelé Agence de l'Efficacité Énergétique (AEE) du Québec, a mis en place en juin 2009 un projet pilote visant à favoriser l'implantation des chauffe-eau solaires au Québec. Ce projet ciblait le secteur résidentiel, composé de résidences unifamiliales individuelles, jumelées ou en rangées, de petits immeubles résidentiels à logements multiples (3 étages hors sol et moins) et de coopératives d'habitations locatives. Dans le cadre de ce projet, le BEIE a mandaté le Laboratoire des technologies d'Hydro-Québec (LTE) pour instrumenter, mesurer en continu (télé-mesurage) et analyser la performance de plusieurs installations solaires implantées dans le cadre de ce projet afin, ultimement, de quantifier les économies d'énergie *in-situ* des chauffe-eau solaires opérés dans un contexte québécois.

Un total de 23 clients a été recruté par le BEIE pour participer à la campagne de mesurage du LTE. Pour la grande majorité d'entre eux, la campagne de mesurage a débuté le 1^{er} août 2010 et elle s'est terminée au 1^{er} août 2011, soit un an plus tard.

Le présent document constitue le rapport final de ce projet. Il couvre toute la période de mesurage. Il a deux principaux objectifs : 1/ décrire en détail les installations solaires qui ont été suivies dans le cadre de ce projet ; 2/ présenter les résultats qui se dégagent des données de mesurage recueillies pendant le projet. Plus spécifiquement, les items suivants sont discutés dans ce rapport :

- Description des installations ;
- Description de l'infrastructure de mesurage ;
- Données climatiques mesurées pendant la campagne de mesure ;
- Consommation d'eau chaude de la clientèle ;
- Nombre d'heure de fonctionnement des chauffe-eau solaires ;
- Température de l'eau dans les réservoirs de stockage ;
- Réduction de la consommation et de la facture énergétique associée aux chauffe-eau solaires.

Le lecteur doit prendre note que ce rapport final a été précédé d'un rapport d'étape en février 2011 [1]. Ce rapport d'étape faisait la description des installations et il présentait les résultats préliminaires associés aux 5 premiers mois de la campagne de mesurage, soit du 1^{er} août 2010 au 31 décembre 2010. L'actuel rapport final reprend plusieurs éléments d'information présentés dans

ce premier rapport d'étape de manière à ce que le document soit pour le lecteur un tout autonome et complet en soi.

1. Description des installations solaires

1.1 Installation typique d'un chauffe-eau solaire et glossaire terminologique

Afin d'éviter toute ambiguïté sur les termes utilisés dans ce rapport, une terminologie sera employée pour définir les différentes composantes d'un chauffe-eau solaire. Ces composantes et leurs désignations correspondantes sont identifiées sur la figure 1.1. Ce dernier schéma illustre une installation typique d'un chauffe-eau solaire dans un contexte canadien.

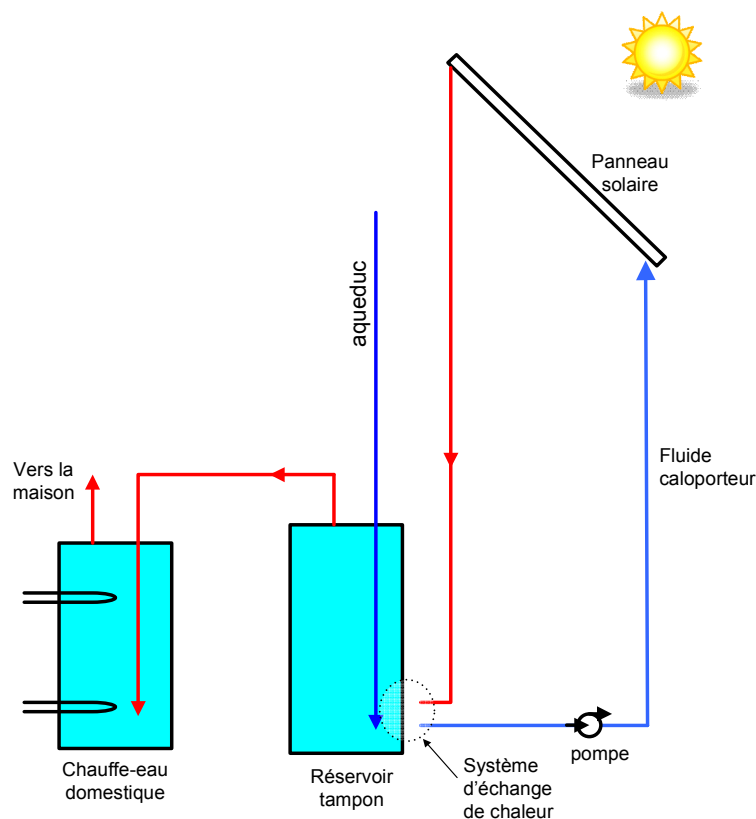


Figure 1.1 : Nomenclature et schéma d'une installation type d'un chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est composé de **panneaux solaires** dont le rôle est de capter et de transformer en chaleur le rayonnement venant du soleil. Cette chaleur sert à chauffer un **fluide caloporteur** à base de glycol qui circule dans des conduites grâce à une **pompe** de circulation. Selon le fabricant, cette pompe est, soit alimentée par une tension secteur, soit alimentée par des cellules photovoltaïques. Ce fluide caloporteur est véhiculé jusqu'au **réservoir tampon** où, grâce à un **système d'échange de chaleur**, la chaleur du fluide est cédée à l'eau du réservoir. Cet

échange de chaleur au réservoir peut se faire, soit via un échangeur de chaleur intégré au réservoir tampon, ou soit via un module externe d'échange de chaleur qui fonctionne selon le principe du thermosiphon (voir schéma 1.2). Au Canada, c'est souvent cette dernière technique d'échange de chaleur qui est utilisée et c'est principalement celle-ci qui est rencontrée parmi les 23 clients suivis dans le cadre de ce projet. Le rôle du réservoir tampon est de stocker la chaleur venant des panneaux solaires, puisqu'il y a souvent un déphasage entre les besoins en eau chaude et les apports solaires. Lors d'une consommation en eau chaude, l'eau froide de la ville (**aqueduc**) entre dans le réservoir tampon où elle est préchauffée grâce aux apports solaires des panneaux solaires. L'eau préchauffée qui quitte le réservoir tampon entre ensuite dans le **chauffe-eau domestique** du client où elle est chauffée jusqu'à la température de consigne qui se situe généralement à 60 °C. Le chauffe-eau domestique peut être électrique, au gaz, au mazout ou un chauffe-eau direct sans stockage. C'est le chauffe-eau domestique qui alimente la maison en eau chaude.

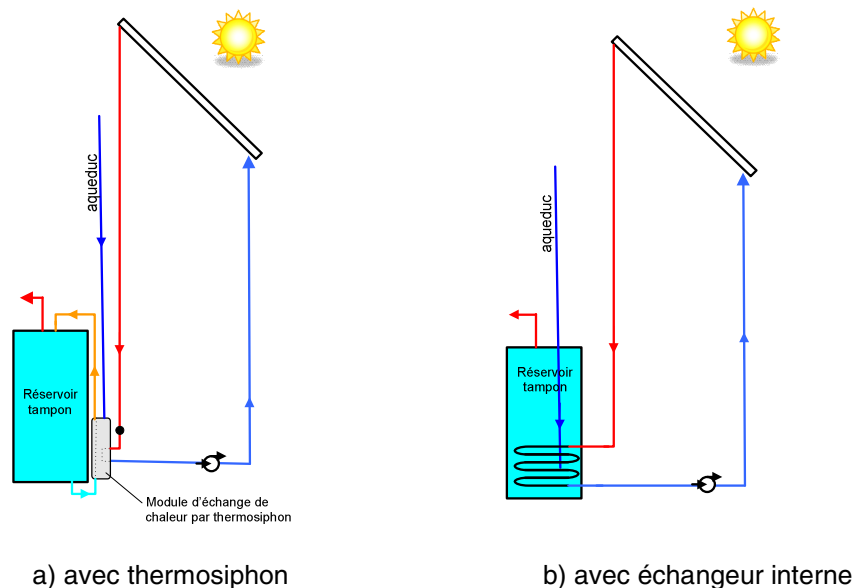


Figure 1.2 : Schéma des systèmes d'échange de chaleur vers le réservoir tampon

D'une façon générale, ce sont des variantes de la configuration typique illustrée à la figure 1.1 qui ont été réellement rencontrées parmi les 23 installations de la campagne de mesurage. Par exemple, deux réservoirs tampons ont été installés à la place d'un seul réservoir tampon, ou encore, le chauffe-eau domestique est remplacé par un chauffe-eau direct sans réserve d'eau. Souvent aussi, une vanne de mélange est installée dans le circuit d'eau chaude de manière à ce que l'eau chaude alimentant la maison soit en tout temps à une température sécuritaire. En outre, pour deux cas particuliers (clients REQ-049, REQ-052), la configuration d'installation est

significativement différente de la configuration typique décrite auparavant. Mais quoiqu'il en soit, la même terminologie que celle énumérée ci-haut sera utilisée dans tous les cas. En outre, par abus de langage, l'expression **chauffe-eau solaire** sera utilisée dans ce rapport pour toutes les installations, bien que certaines de celles-ci servent à la fois au chauffage du bâtiment et de l'eau chaude sanitaire.

1.2 Liste des installations

Les clients participant à la campagne de mesurage ont été recrutés par le BEIE parmi ceux ayant adhéré au projet pilote sur les chauffe-eau solaires. Le tableau 1.1 énumère les principales caractéristiques des 23 installations retenues par le BEIE tandis que la figure 1.3 illustre la distribution géographique de ces clients sur le territoire québécois. Comme illustré sur cette dernière figure, les clients sont disséminés sur un large territoire de la province de Québec, avec toutefois une concentration d'installations dans la zone comprise entre Montréal et la frontière américaine.

Pour chacun des 23 clients, identifiés par un numéro d'identification, le tableau 1.1 donne la ville où est situé le client, la dénomination de l'entrepreneur ayant fait l'installation et la dénomination du manufacturier des panneaux solaires. Également, ce tableau donne le type d'application des chauffe-eau solaires, la source d'énergie qui est économisée par l'installation solaire et le nombre d'occupants. Les constats suivant se dégagent de ce tableau :

- Quatre entrepreneurs seulement ont réalisé les 23 installations de chauffe-eau solaires. En outre, un total de 17 des 23 installations furent installées par le même entrepreneur (E1), ce qui représente 74 % des installations. L'échantillonnage porte donc fortement la couleur d'un seul maître d'œuvre au niveau du dimensionnement et de l'installation des chauffe-eau solaires ;
- Trois manufacturiers de panneaux solaires se partagent l'ensemble des installations, soit 43 % des installations pour le manufacturier P1, 43 % pour le manufacturier P2, et 14 % pour le manufacturier P3. Les manufacturiers P1 et P2 sont canadiens. Dans tous les cas, les panneaux des manufacturiers P1 et P2 sont installés conjointement avec un module de récupération de chaleur fonctionnant sur le principe du thermosiphon (voir figure 1.2a). Ces modules sont fabriqués par les manufacturiers des panneaux solaires. En contrepartie, les panneaux du manufacturier P3 sont installés en conjonction avec un réservoir tampon doté d'un échangeur tubulaire interne. Au global, il y a donc 86 % des

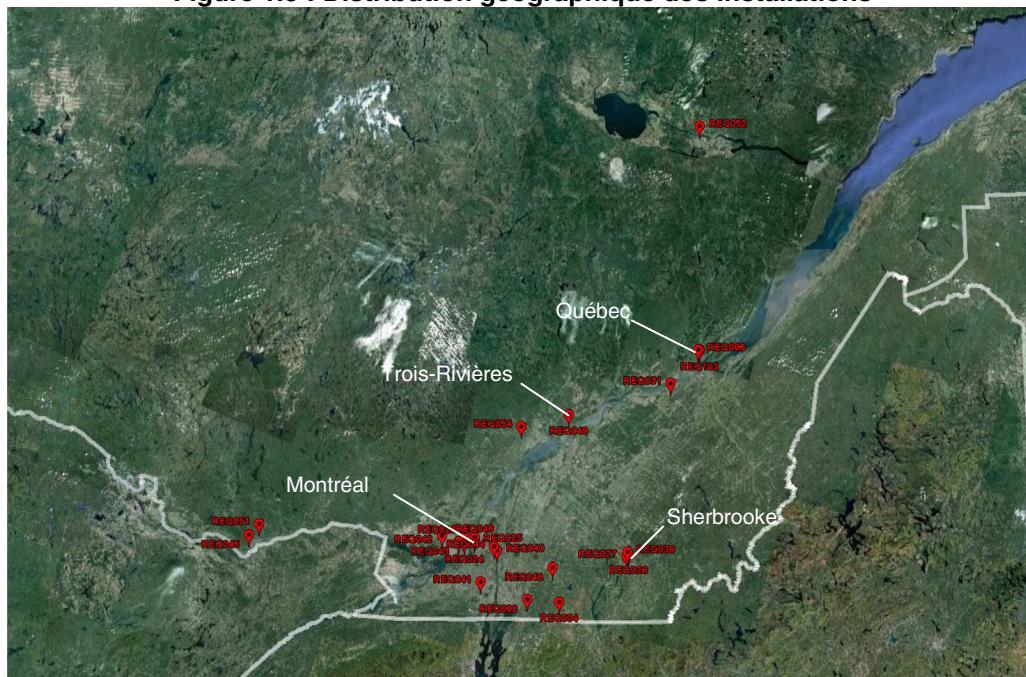
systèmes qui utilisent le principe du thermosiphon pour récupérer la chaleur des panneaux solaires, tandis que 14 % des systèmes font appel à un échangeur de chaleur intégré au réservoir tampon ;

- 19 installations solaires (83 %) servent exclusivement au chauffage de l'eau chaude sanitaire, tandis que 4 installations (17 %) sont conçues pour pourvoir à la fois à des besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage du bâtiment. Dans ces derniers cas, il s'agit pour la plupart d'installations sur mesure dont la conception, tant au niveau du design que du dimensionnement, diffère significativement d'une installation typique. La section 1.3 décrira en détail toutes les installations ;
- Parmi les 23 installations, une majorité, soit 87 % (20 sur 23), permet d'économiser de l'électricité. Ceci s'explique essentiellement par la forte dominance de l'électricité au Québec pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire (91 % des chauffe-eau individuels sont électriques au Québec [2]) ;
- La taille des ménages de l'échantillon est relativement élevée. En effet, le nombre moyen d'occupants par ménage est environ de 3.7. A titre de comparatif, la moyenne québécoise est établie à 2.5 [2].

Tableau 1.1 : Liste des clients participant à la campagne de mesurage

No. du client	Ville	Installateur	Fabricant des panneaux solaires	Usage de l'énergie solaire	Source d'énergie économisée	Nombre d'occupants
REQ-002	Saint-Armand	E1	P1	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-004	Sutton	E1	P1	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-023	Montréal	E1	P1	eau chaude sanitaire	électricité	3
REQ-031	Saint-Apollinaire	E2	P2	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-027	Sherbrooke	E1	P1	eau chaude sanitaire	gaz	3
REQ-025	Brossard	E1	P1	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-024	Montréal	E1	P1	eau chaude sanitaire	électricité	2
REQ-026	Sherbrooke	E1	P1	eau chaude sanitaire	mazout	4
REQ-036	Sherbrooke	E1	P1	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-043	Montréal	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité + gaz	4
REQ-051	Gatineau	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-046	Saint-Hubert	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	2 + loc. été
REQ-040	Carignan	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	2
REQ-042	Roxboro	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-044	Chambly	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-041	Napierville	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	4
REQ-048	Shefford	E1	P2	eau chaude sanitaire	électricité	2
REQ-045	Gatineau	E1	P2	eau chaude sanitaire + chauffage	gaz	5
REQ-052	Jonquière	E3	P3	eau chaude sanitaire + chauffage	électricité	7
REQ-049	Trois-Rivières	E2	P3	eau chaude sanitaire + chauffage	électricité	2
REQ-054	Sainte-Ursule	E2	P3	eau chaude sanitaire + chauffage	électricité	3
REQ-096	Québec	E4	P1	eau chaude sanitaire	électricité	6
REQ-103	Québec	E4	P1	eau chaude sanitaire	électricité	3

Figure 1.3 : Distribution géographique des installations



La campagne de mesurage de la majorité des clients s'est déroulée entre le 1^{er} août 2010 et le 1^{er} août 2011. Parce qu'ils furent recrutés plus tard par le BEIE, trois clients eurent une période de mesurage plus courte, soit les clients REQ-054, REQ-096 et REQ-103. Le tableau 1.2 donne le début et la fin de la campagne de mesurage de chacun des clients. Ce tableau énumère aussi les défauts évidents ayant été notés pendant le projet. Ainsi, un système (REQ-002) a été arrêté manuellement par le client parce que son panneau solaire était percé. Dans 2 autres cas (clients REQ-041 et REQ-051), les systèmes n'ont pas fonctionné pendant plusieurs jours consécutifs. La cause exacte n'est pas connue mais l'examen des résultats suggère un problème avec la boucle du thermosiphon¹. Finalement, le système du client REQ-045 a été mis en marche plus tard que prévu pour une raison de conformité d'installation.

Tableau 1.2 : Période de mesurage et commentaires pour chacun des clients

No. du client	Début du mesurage	Fin du mesurage	Commentaires
REQ-002	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	Le panneau solaire a été enlevé en décembre 2010 parce qu'il était percé. Le système a été désactivé pour le restant du projet.
REQ-004	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-023	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-031	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-027	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-025	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-024	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-026	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-036	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-043	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-051	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	Le système semble ne pas avoir fonctionné correctement en octobre et novembre 2010. La cause est possiblement due à la boucle du thermosiphon.
REQ-046	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-040	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-042	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-044	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-041	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	Le système semble ne pas avoir fonctionné correctement de mars 2011 à juin 2011. La cause est possiblement due à la boucle du thermosiphon.
REQ-048	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-045	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	Le système n'a pas été mis en fonction par le client de août 2010 à novembre 2010 pour une question de conformité d'installation.
REQ-052	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-049	1 ^{er} août 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-054	1 ^{er} sept. 2010	1 ^{er} août 2011	-
REQ-096	15 mars 2011	1 ^{er} août 2011	-
REQ-103	15 mars 2011	17 juil. 2011	-

¹ Un problème d'apparence identique avait été diagnostiqué par mesurage préalablement au début de la campagne de mesurage pour un client (REQ-031). L'installateur a confirmé par la suite que de l'air était prisonnier dans la boucle et empêchait la circulation d'eau par thermosiphon. La situation fut réglée avant le début du mesurage pour ce client.

1.3 Description technique des installations

Pour chaque client, l'annexe A schématise les configurations d'installation des chauffe-eau solaires.

Parmi les 23 installations, il y en a 21 dont la configuration de montage s'apparente plus ou moins à celle d'une installation typique pour un chauffe-eau solaire, tandis qu'il y en a 2 dont la configuration est significativement différente (REQ-049, REQ-052).

Les principaux paramètres physiques de toutes ces installations sont présentés au tableau 1.3 ci-dessous.

Tableau 1.3 : Description des installations

No. du client	Capteur solaire						Réserveir de stockage			
	Fabricant	Nombre de panneaux	Surface totale (m ²)	Orientation des capteurs (0°=nord; 180°=sud)	Inclinaison p/r horizontale (°)	Exposition au soleil (1=obstacle; 10=sans obstacle)	Nombre de réservoirs tampons	Nombre de chauffe-eau domestique	Volume total des réservoirs tampons (Litre)	Volume total des réservoirs domestiques (Litre)
REQ-002	P1	1	3	166	44	10	1	1	180	270
REQ-004	P1	2	6	134	37	8	2	- ^(b)	540	-
REQ-023	P1	1	3	240	50	10	1	1	180	270
REQ-031	P2	2	6	200	26	10	1	1	270	270
REQ-027	P1	2	6	210	45	10	1	- ^(c)	270	-
REQ-025	P1	2	6	198	57	10	2	1	540	270
REQ-024	P1	1	3	184	47	9	1	1	270	180
REQ-026	P1	2	6	198	54	9	2	1	540	270
REQ-036	P1	2	6	174	90	10	2	1	540	270
REQ-043	P2	2	6	192	54	10	2	1 ^(d)	540	180 (app. #1) 196 (app. #2)
REQ-051	P2	2	6	180	46	10	2	1	540	180
REQ-046	P2	2	6	198	53	8	2	1	540	180
REQ-040	P2	1	3	180	46	10	1	1	270	180
REQ-042	P2	2	6	179	49	9	2	1	540	270
REQ-044	P2	2	6	182	46	10	2	1	540	180
REQ-041	P2	2	6	196	53	10	2	1	360	180
REQ-048	P2	2	6	178	58	8	1	- ^(b)	270	-
REQ-045	P2	2 ^(e)	6	180	48	10	1	1 ^(e)	455	135
REQ-052	P3	4	12	162	53	10	1 ^(f)	1	1041	270
REQ-049	P3	3	9	224	36	10	1 ^(f)	1	1041	180
REQ-054	P3	2	6	220	45	8	1 ^(g)	1	270	180
REQ-096	P1	2	6	190	44	10	1	1	270	180
REQ-103	P1	2	6	170	45	10	1	1	180	180

De ce tableau, il appert que :

- Selon l'installation, la quantité de panneaux solaires installée varie entre 1 et 4. Pour une majorité d'installations toutefois (17/23), la quantité de panneaux solaires est de 2, ce qui

équivalent à une surface de panneaux d'environ 6 m². Il s'agit de la surface généralement recommandée pour ménage de taille moyenne (3-4 personnes) [3] ;

- Les mesures *in-situ* prises par le LTE montrent que les panneaux solaires de la plupart des installations sont bien orientés par rapport au sud (voir figure 1.4). En effet, 65 % des installations sont orientées dans une plage de valeurs se situant entre 170 et 200°. Par ailleurs, la plupart des panneaux sont inclinés entre 40 et 50° par rapport à l'horizontale. Dans un seul cas (client REQ-036), les panneaux ont été placés en position verticale sur le mur sud de la résidence. A titre indicatif, la référence [3] mentionne que les panneaux solaires formant un angle de 18° à 50° par rapport à l'horizontale et orientés entre le sud-est (135°) et le sud-ouest (225°) donnent un excellent rendement dans la plupart des régions du Canada ;

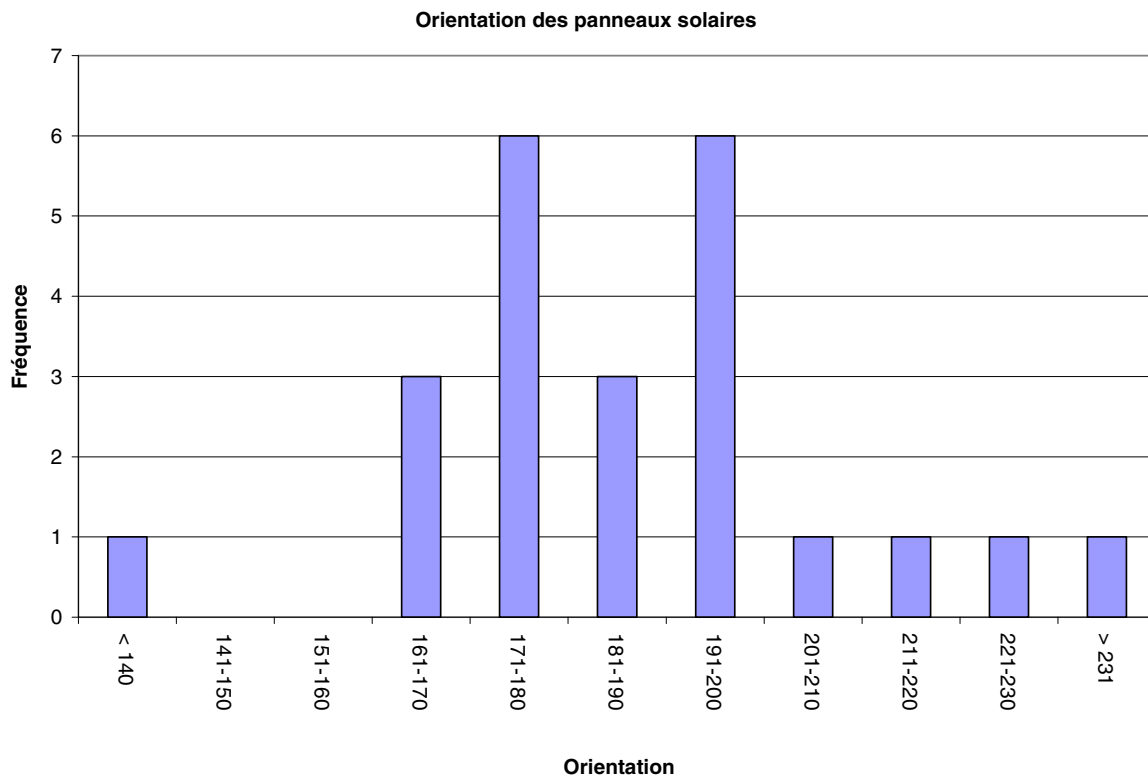


Figure 1.4 : Orientation des panneaux solaires (180° = sud)

- La cote d'exposition au soleil indiquée au tableau 1.3 est une valeur subjective (donnée par le LTE) qui dénote s'il y a des obstacles environnants qui peuvent nuire à l'exposition au soleil des panneaux solaires (ex : arbre, bâtiment voisin, etc.). Une valeur de 10 dénote qu'il n'y a aucun obstacle environnant, tandis qu'une valeur de 1 indique des obstructions

majeures. Pour les 23 installations, la cote d'exposition varie entre 8 et 10, avec une valeur moyenne de 9.5. Ces derniers résultats indiquent que la présence d'obstacle environnant a été prise en compte par les entrepreneurs lors de l'installation des panneaux solaires ;

- Tous les clients possèdent un chauffe-eau domestique pour compléter le chauffage de l'eau chaude. Pour 20 d'entre eux, il s'agit d'un chauffe-eau domestique avec réservoir, tandis que dans 3 cas il s'agit d'un chauffe-eau domestique direct qui entre en action seulement si la température de l'eau sortant du réservoir tampon n'est pas suffisamment élevée ;
- Pour 10 installations, le nombre de réservoirs tampons est de 2. En excluant les 2 installations particulières des clients REQ-049, REQ-052, cela signifie qu'environ la moitié des installations furent dotés de 2 réservoirs tampons. Lorsqu'il y a 2 réservoirs tampons, ceux-ci sont dans tous les cas reliés hydrauliquement en parallèle de sorte que la chaleur venant des panneaux solaires est cédée simultanément aux 2 réservoirs. D'une façon générale, ces réservoirs tampons sont des chauffe-eau électriques dépourvus d'éléments et dont le volume est soit de 180 litres (40 gallons can.) ou de 270 litres (60 gallons can.). Sur une base purement énergétique, le choix du volume de stockage des réservoirs tampons dépend de plusieurs paramètres, dont entre autres le volume d'eau chaude consommée quotidiennement, le profil journalier de soutirage d'eau, la surface des panneaux et l'ensoleillement. Plus volumineux sera le stockage, plus longtemps le système pourra assurer la fourniture d'énergie, passées les heures d'ensoleillement. Par contre, un grand stockage augmente les pertes thermiques en attente et augmente les coûts d'investissement. La valeur souvent recommandée dans la littérature est de 75 litres par m² de capteurs solaires, mais peut varier entre 38 et 100 L/m² [4, 5, 6]. Par ailleurs, les chauffe-eau solaires certifiés par la norme CSA F379.1 présentent un ratio moyen de 58 litres par m² [7]. Dans le cadre du projet actuel, le volume de stockage installé chez environ la moitié des clients est égal ou supérieur à 90 litres par m², soit la borne supérieure recommandée (figure 1.5). Ce dernier résultat dénote une tendance au surdimensionnement des réservoirs tampons, par rapport à la règle de design généralement admise.

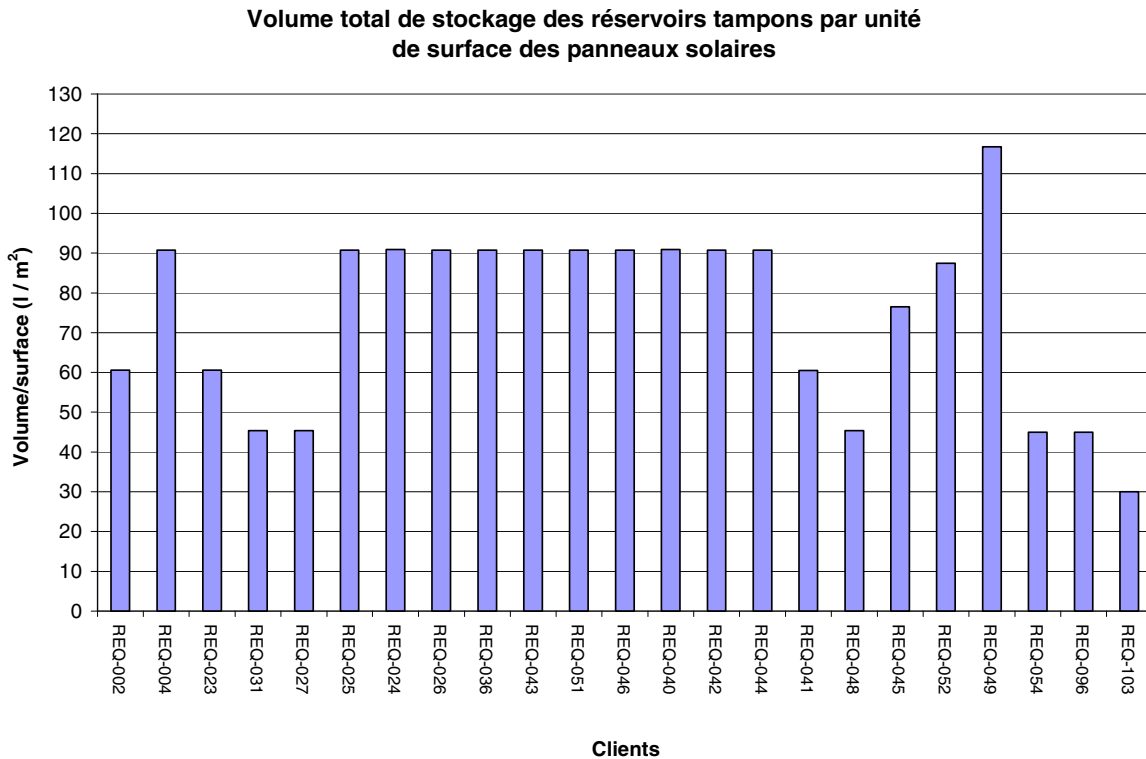


Figure 1.5 : Volume de stockage des réservoirs tampons par unité de surface des panneaux solaires

Le lecteur constatera en examinant les schémas d’installations de l’annexe A que certains de ceux-ci diffèrent légèrement de ceux présentés dans le rapport d’étape [1]. La raison est que les schémas présentés dans l’actuel rapport représentent les configurations d’installation observées lors de la désinstallation des équipements de mesure en août 2011, tandis que les schémas présentés dans le rapport d’étape correspondent aux configurations notées lors de l’installation des équipements de mesurage, c’est-à-dire un an plus tôt. Or, entre les deux événements, des vannes de mélange ont été systématiquement ajoutées à tous les systèmes par les entrepreneurs, suite à une directive du BEIE de manière à rencontrer les exigences de la norme CAN/CSA F383 et qui concerne la température sécuritaire d’alimentation en eau chaude. Pour plusieurs cas, ces vannes furent installées après l’instrumentation des sites par le LTE, ce qui explique les différences entre les schémas.

1.4 Infrastructure de mesurage

Entre le BEIE et le LTE, un cahier de charge d'instrumentation avait été établi en début de projet de manière à pouvoir diagnostiquer adéquatement la performance énergétique des systèmes. En outre, afin de minimiser le dérangement pour le client, l'entrepreneur avait le mandat de réaliser quelques travaux préparatoires au mesurage de manière à faciliter l'instrumentation des installations par le LTE, subséquemment à l'installation des chauffe-eau solaires par l'entrepreneur. Entre autres, l'entrepreneur devait modifier la plomberie de manière à installer un compteur d'eau et des thermocouples plongeurs.

Les points de mesure de base convenus entre le LTE et le BEIE convenaient pour une configuration typique d'un chauffe-eau solaire, soit la configuration illustrée à la figure 1.1. La figure 1.6 fait la nomenclature de ces points de mesure de base, et les figures 1.7 présentent quelques images de l'instrumentation.

Lors de la phase d'instrumentation par le LTE, cette instrumentation de base dut quelques fois être adaptée *in-situ*, compte tenu que la configuration d'installation des chauffe-eau solaires était différente de la configuration typique anticipée initialement. Par exemple, la vanne de mélange, non prévue initialement lors de la phase de conception du plan de mesurage, était parfois présente. Lorsque cette situation survenait et que des températures supplémentaires devaient être mesurées, des thermocouples de surface (isolés en face opposée), apposés sur les tuyaux, étaient alors utilisés comme solution de dépannage à la place des thermocouples plongeurs. Quoiqu'il en soit, l'instrumentation était dans tous les cas réalisée de manière à pouvoir établir, par bilan d'énergie et de masse, un diagnostic énergétique des chauffe-eau solaires. Le lecteur est invité à consulter l'annexe A qui présente pour chaque installation les points de mesure effectivement installés par le LTE lors de la campagne de mesurage.

L'acquisition des données de mesurage se faisait grâce à des enregistreurs SmartReader, dont l'intervalle d'enregistrement était de 5 minutes. Ces valeurs enregistrées aux 5 minutes étaient des valeurs moyennes de mesures ponctuelles mesurées aux 8 secondes pendant l'intervalle d'acquisition. Ces données étaient téléchargées automatiquement à toutes les semaines par le LTE par lien téléphonique, pour ensuite être archivées au LTE pour analyse ultérieure.

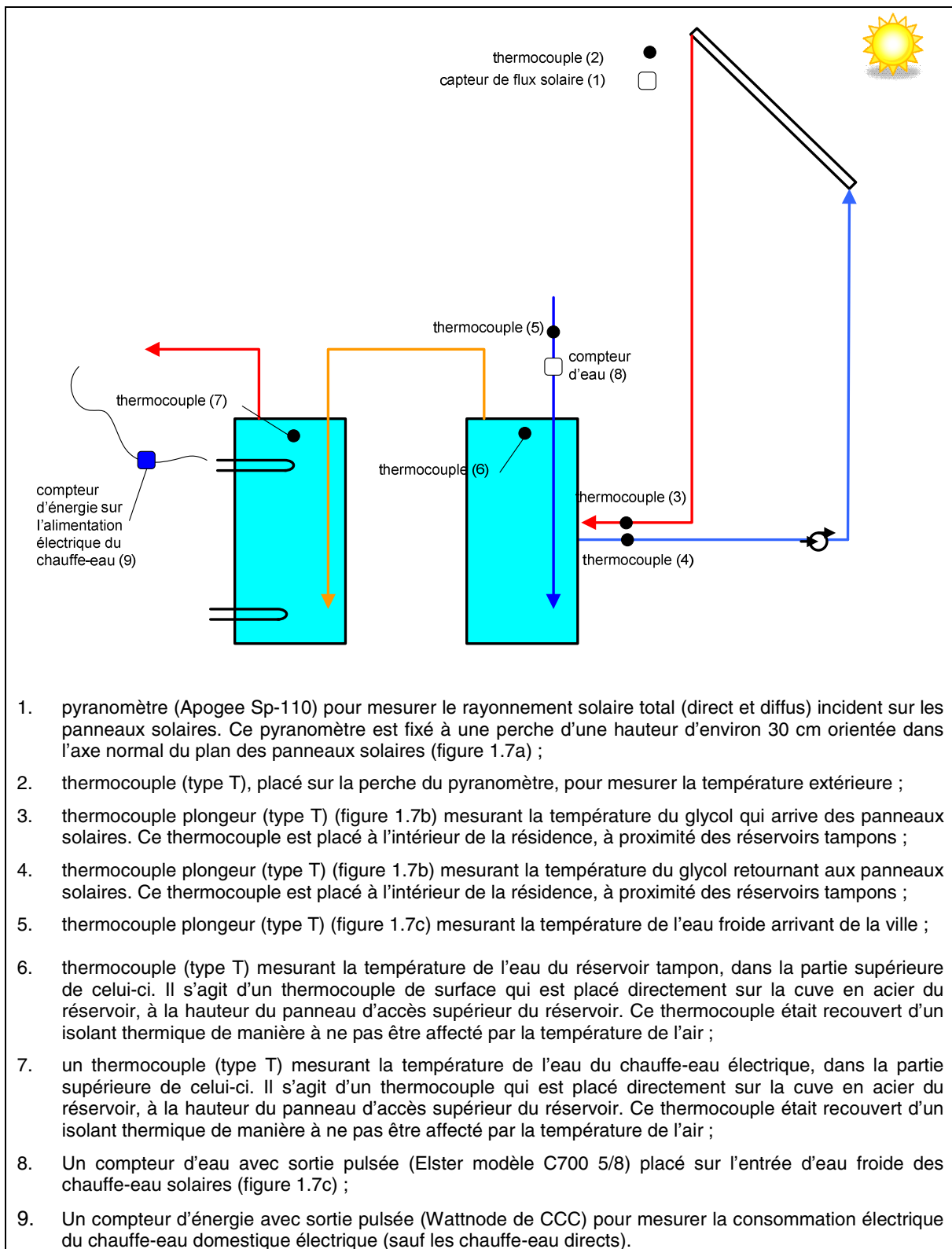


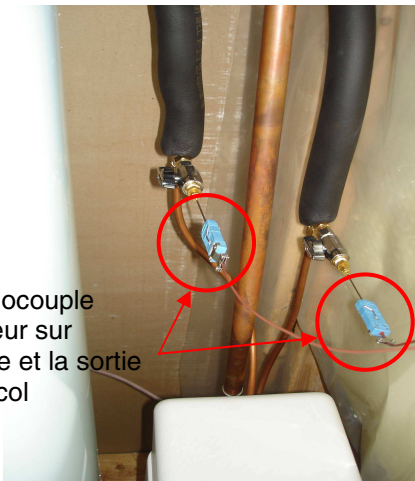
Figure 1.6 : Instrumentation de base des chauffe-eau solaires

Pyranomètre +
thermocouple



1.7a)

Thermocouple
plongeur sur
l'entrée et la sortie
du glycol



1.7b)

Thermocouple
plongeur sur
l'entrée d'eau

Compteur d'eau



1.7c)

Figure 1.7 : Photos des points de mesure

2. Analyse des données de mesurage

Pour chacun des clients ayant participé au projet, une analyse détaillée a été réalisée afin de livrer à ceux-ci un rapport-client personnalisé sur la performance de son système solaire pendant la campagne de mesurage.

Sur la base de ces analyses personnalisées, les sections qui suivent font la synthèse des résultats pour l'ensemble du groupe.

2.1 Conditions de température et d'ensoleillement

Par mois, le tableau 2.1 donne la valeur totale mensuelle ($\text{kWh/m}^2/\text{mois}$) du rayonnement solaire qui est incident sur les panneaux solaires de chacun des clients. Par ailleurs, le tableau 2.2 donne la température extérieure moyenne mensuelle mesurée à chacun des sites. Les valeurs de ces tableaux sont traduites en graphiques sur les figures 2.1.

Plusieurs facteurs expliquent la disparité des valeurs de rayonnement solaire mesurées d'un client à l'autre : inclinaison et orientation des panneaux solaires, localisation du client. D'une façon générale, d'un mois à l'autre, ce sont toujours les mêmes clients qui reçoivent le moins ou le plus de rayonnement solaire par rapport à l'ensemble du groupe. Ainsi, les clients REQ-043, REQ-004, REQ-027 sont toujours parmi ceux recevant le moins de rayonnement solaire, tandis que le client REQ-023 en reçoit plus que l'ensemble des clients.

Globalement, et en utilisant Montréal comme référence, l'année couverte par la campagne de mesurage a été 10.5 % moins ensoleillée qu'une année moyenne, défavorisant ainsi légèrement la performance des chauffe-eau solaires pendant le projet pilote. Par contre, la température moyenne extérieure a été égale à celle d'une année moyenne. Ceci est illustré par les figures 2.2. La figure 2.2a compare le rayonnement global mensuel reçu sur une surface horizontale au cours d'un mois moyen par rapport à la valeur réelle du mois pendant la campagne de mesurage. La figure 2.2b fait cette comparaison au niveau de la température extérieure moyenne mensuelle. La banque de données météo de SIMEB [8] de la région de Montréal ont été retenues pour faire cet exercice de comparaison puisque la plupart des installations se trouvent dans ce secteur².

² Les valeurs de rayonnement solaire mesurées par les stations météo sont la plupart du temps pour un plan horizontal, ce qui est le cas pour SIMEB. Par contre, dans le cadre du projet pilote, le rayonnement solaire a

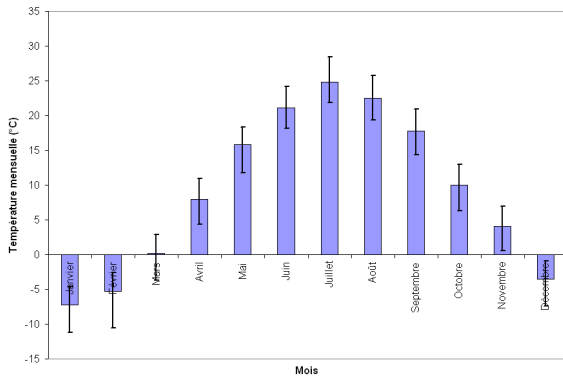
Tableau 2.1 : Rayonnement solaire total mensuel incident sur les panneaux solaires

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)	Ray. total mensuel (kWh/m ² /mois)
REQ-027	44	70	104	94	94	108	132	121	74	60	45	24
REQ-051	67	90	134	122	105	127	156	146	93	107	78	53
REQ-045	65	89	138	123	104	127	154	144	96	105	75	45
REQ-023	102	117	164	148	144	155	183	181	139	130	116	86
REQ-043	56	76	112	91	80	83	104	103	71	74	70	34
REQ-031	70	77	137	126	128	158	177	153	93	75	58	34
REQ-049	68	81	131	117	109	135	169	152	94	79	61	37
REQ-046	75	100	148	127	128	141	174	160	108	98	85	47
REQ-025	68	91	135	112	110	122	154	150	100	93	83	42
REQ-026	97	119	156	145	148	158	181	166	119	110	97	75
REQ-036	74	94	116	85	78	83	104	127	101	99	75	45
REQ-040	83	109	156	133	141	159	191	176	119	102	86	54
REQ-052	83	97	144	143	137	137	155	160	98	66	49	38
REQ-024	84	112	147	120	119	129	159	158	103	94	80	49
REQ-042	83	105	154	144	138	151	188	159	115	111	92	70
REQ-048	62	93	131	109	111	122	151	144	98	81	72	39
REQ-004	40	61	97	101	108	107	119	115	73	61	42	22
REQ-002	75	110	142	141	157	177	208	183	120	106	81	53
REQ-041	86	114	161	130	131	145	178	172	118	104	87	60
REQ-044	70	94	136	116	119	141	170	185	136	119	82	46
REQ-054	106	116	176	161	154	177	212	-	122	120	102	83
REQ-096	-	-	102	126	123	142	159	-	-	-	-	-
REQ-103	-	-	92	123	120	138	91	-	-	-	-	-
moyenne:	74	96	135	123	121	136	160	153	104	95	77	49

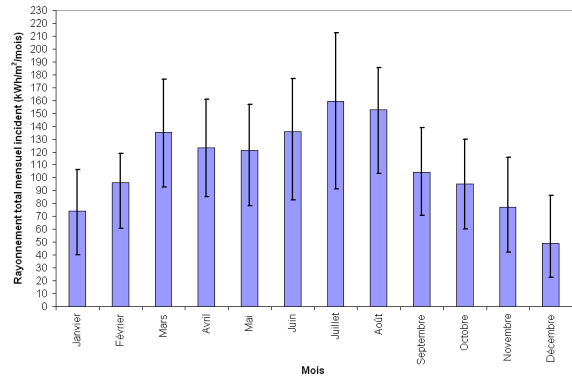
Tableau 2.2 : Température extérieure moyenne

Clients	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)	Temp. ext. Moyenne (°C)
REQ-027	-8.2	-6.4	-1.0	6.9	15.4	19.2	22.7	20.1	16.1	8.0	2.4	-5.0
REQ-051	-7.7	-4.9	0.5	8.9	16.8	22.2	25.3	22.9	17.9	10.5	4.2	-3.1
REQ-045	-7.6	-4.9	0.8	9.3	17.4	22.7	26.0	23.7	18.4	11.1	4.8	-2.9
REQ-023	-11.1	-8.8	-3.5	4.4	11.8	18.2	22.4	19.4	14.4	6.3	0.5	-7.4
REQ-043	-4.8	-2.7	2.7	10.6	18.0	23.5	27.3	24.8	20.0	12.3	6.6	-1.4
REQ-031	-8.5	-7.5	-1.8	5.4	13.2	19.7	23.1	21.7	15.6	8.3	1.8	-5.0
REQ-049	-5.1	-3.7	2.4	10.3	18.1	24.2	28.5	25.7	20.5	12.4	6.0	-1.0
REQ-046	-6.0	-3.8	1.5	9.4	16.8	22.8	26.9	23.9	19.3	11.5	5.5	-2.3
REQ-025	-4.6	-2.6	2.8	10.9	18.3	24.1	28.1	25.6	20.9	13.0	7.0	-0.9
REQ-026	-8.1	-6.4	-1.4	6.6	15.6	19.7	23.2	21.2	16.9	8.7	3.1	-4.5
REQ-036	-6.3	-4.4	0.7	8.3	16.6	20.5	24.3	22.3	17.9	10.0	4.4	-3.1
REQ-040	-7.7	-5.2	0.2	8.3	16.1	21.5	25.1	22.5	17.9	9.9	4.4	-3.9
REQ-052	-11.2	-10.5	-3.7	4.6	12.8	18.8	22.2	21.7	14.6	7.8	1.0	-4.7
REQ-024	-5.8	-3.7	1.7	9.7	17.2	22.9	26.7	24.0	19.4	11.5	5.8	-2.2
REQ-042	-4.9	-2.8	2.7	10.8	18.3	24.1	28.0	24.5	20.3	12.4	6.5	-1.1
REQ-048	-7.1	-4.7	0.5	8.8	17.1	21.0	24.6	22.3	18.0	10.0	4.5	-3.9
REQ-004	-7.7	-5.6	-0.5	7.4	16.0	18.7	22.0	20.2	16.2	8.4	3.1	-4.9
REQ-002	-9.0	-6.8	-1.6	6.9	14.9	18.7	21.8	19.5	15.4	7.4	1.9	-6.1
REQ-041	-8.0	-5.7	-0.4	7.9	15.6	20.4	23.9	21.2	16.8	8.9	3.3	-4.7
REQ-044	-7.0	-4.7	0.8	8.9	16.4	22.1	25.9	22.9	18.3	10.3	4.8	-3.3
REQ-054	-6.1	-5.1	1.0	8.7	16.9	22.7	26.2	-	17.9	10.8	4.8	-2.5
REQ-096	-	-	-0.5	5.2	11.9	16.3	23.0	-	-	-	-	-
REQ-103	-	-	0.8	6.1	13.0	19.4	24.0	-	-	-	-	-
moyenne:	-7.3	-5.3	0.2	8.0	15.8	21.1	24.8	22.5	17.7	10.0	4.1	-3.5

été mesuré dans un plan normal aux panneaux solaires. Ces deux valeurs ne peuvent donc pas être comparées directement.

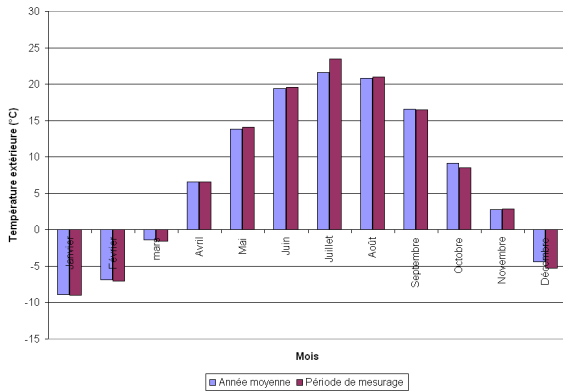


2.1a) Température extérieure

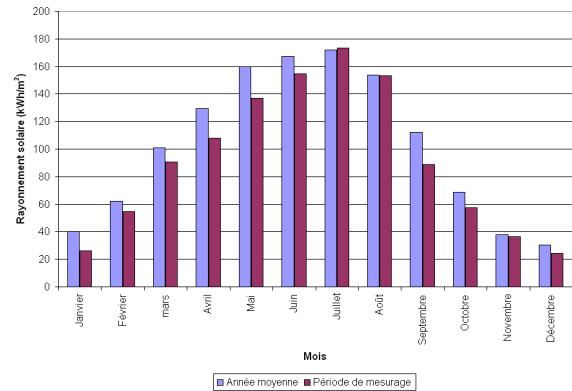


2.1b) Rayonnement solaire incident

Figure 2.1 : Température extérieure et rayonnement solaire incident sur les panneaux, selon le mois (valeurs moyennes, maximales et minimales des 23 clients)



2.2a) température externe



2.2b) rayonnement solaire sur une surface horizontale

Figure 2.2 : Données climatiques d'une année moyenne vs données climatiques réelles de la période de mesurage (région de Montréal) ³

³ L'année moyenne représente la moyenne des 17 années comprises entre 1995 et 2011

2.2 Consommation d'eau chaude des clients et température de l'aqueduc

Pour mesurer la consommation d'eau chaude, un compteur d'eau a été installé chez chacun des clients sur la ligne d'eau froide alimentant le réservoir d'eau chaude. Selon le client, ce compteur fut parfois installé par l'entrepreneur en amont de la vanne de mélange et, dans d'autre cas, en aval de la vanne de mélange (voir l'annexe A). Pour ramener les consommations d'eau à la même valeur comparative, la consommation d'eau mesurée dut donc parfois être corrigée de manière à refléter la position du compteur sur le circuit d'alimentation en eau chaude. Pour ce faire, les équations de bilan de masse et d'énergie appliquées sur le volume de contrôle de la vanne de mélange ont été appliquées pour corriger la consommation d'eau chaude.

Dans cette étude, la consommation d'eau chaude d'un client est définie comme étant celle qui dessert la maison. Dans le cas où le compteur d'eau est placé en amont de la vanne de mélange, il n'est pas nécessaire de corriger la consommation d'eau puisque la valeur mesurée est celle qui dessert la maison. Par contre, dans l'éventualité où le compteur d'eau est placé en aval de la vanne de mélange (figure 2.3), la valeur mesurée doit être corrigée par la relation suivante :

$$m_{\text{corrigé}} = m_{\text{mesuré}} * \frac{(T2 - T1)}{(T3 - T1)} \quad (1)$$

où les valeurs $m_{\text{mesuré}}$, $T1$ et $T2$ sont des valeurs mesurées pendant la campagne de mesurage. La valeur $m_{\text{corrigé}}$ représente la consommation desservant la maison. Dans le cas particulier de la valeur $T3$, soit la température du mélange après la vanne de mélange, celle-ci fut mesurée pour certains clients lorsque la vanne de mélange était déjà présente au moment de l'instrumentation. Dans le cas contraire, la valeur $T3$ fut supposée égale à 55 °C. D'une façon générale l'application du facteur de correction ci-haut a pour effet d'augmenter de 3 à 15 % la consommation d'eau mesurée, selon le mois et selon le client.

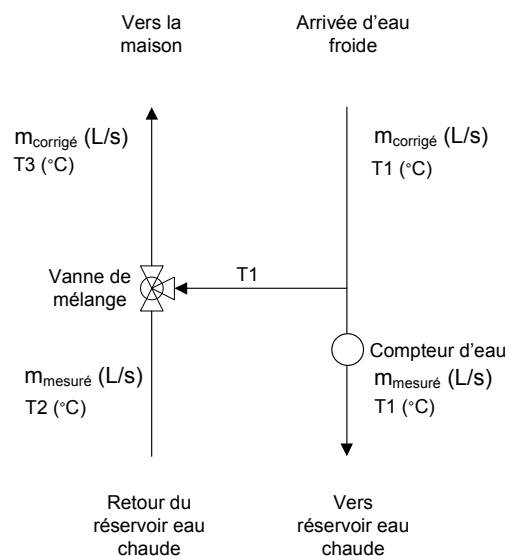


Figure 2.3 : Nomenclature des variables pour réaliser un bilan de masse et d'énergie sur une vanne de mélange

Le tableau 2.3 donne la consommation d'eau chaude qui dessert la maison de chacun des clients. Tel que l'indique ce tableau, la consommation journalière moyenne mesurée des clients varie dans une large plage, celle-ci se situant entre 46 et 325 litres/jour en moyenne sur une base annuelle. La valeur moyenne pour l'ensemble des clients est d'environ 143 l/j pour l'ensemble de la période de mesurage. Les clients REQ-043 et REQ-096 sont ceux ayant la consommation d'eau chaude moyenne la plus élevée (≈ 325 l/j) tandis que le client REQ-046 présente la consommation la plus faible (46 l/j).

Cette consommation moyenne de 143 l/j du groupe est en deçà de la consommation moyenne des ménages québécois. En effet, la consommation moyenne québécoise est évaluée à environ 186 litres d'eau chaude par jour, soit environ 30 % plus élevée que celle de l'échantillonnage de clients du projet sur les chauffe-eau solaires [9]. L'incertitude associée aux vannes de mélange, parce qu'elles furent installées *a posteriori*, peut expliquer ce dernier résultat. Aussi, en ayant fait l'acquisition d'un chauffe-eau solaire, il est possible que les clients aient adopté un comportement éco-responsable et aient réduit leur consommation d'eau chaude afin de maximiser les économies.

La figure 2.4 donne le nombre d'occurrences de toutes les consommations quotidiennes d'eau de l'ensemble des clients. Pour l'ensemble des clients, la plage des valeurs des consommations journalières d'eau est très vaste, s'étendant entre 0 et 500 l/j. Toutefois, c'est entre 60 et 160 l/j que

se concentre la plupart des consommations quotidiennes, et 95 % de celles-ci sont inférieures à 280 l/j.

Outre la faible consommation d'eau chaude, l'échantillonnage se caractérise par une consommation d'eau chaude plus importante en soirée comparativement à celle du matin (figure 2.5). En effet, 35 % de la consommation se fait entre 16h et 21h tandis que 23 % de l'eau chaude est consommée entre 6h et 11h. Pour donner une base de référence à ce dernier profil, la figure 2.5 présente également les profils journaliers de consommation d'eau de l'ASHRAE [10] et de Becker [11].

Tableau 2.3 : Consommation d'eau chaude de chacun des clients

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)	Cons. jour. moyenne (L/j)
REQ-027	86	42	34	35	38	38	35	62	59	69	61	79	53
REQ-051	152	144	148	162	138	125	128	155	132	112	177	176	146
REQ-045	139	169	167	171	168	141	70	125	143	162	155	184	150
REQ-023	59	54	46	51	60	61	108	64	75	88	67	76	67
REQ-043	406	439	445	412	473	404	316	177	119	182	213	302	324
REQ-031	88	89	98	92	99	91	91	87	106	117	116	68	95
REQ-049	65	72	71	66	73	71	66	64	65	68	64	52	66
REQ-046	38	51	58	71	40	41	40	50	32	34	44	50	46
REQ-025	174	180	173	134	135	95	98	75	88	107	124	101	124
REQ-026	191	134	198	167	187	195	122	183	170	195	175	214	178
REQ-036	126	152	146	145	140	130	118	61	89	122	148	126	125
REQ-040	102	108	113	119	138	95	83	80	92	88	90	96	100
REQ-052	-	-	182	216	220	182	309	-	-	-	-	-	222
REQ-024	171	150	136	142	129	156	122	134	134	145	155	178	146
REQ-042	175	198	191	188	196	161	160	120	195	182	196	169	177
REQ-048	184	106	112	84	76	55	88	38	28	77	84	79	84
REQ-004	144	207	242	207	127	120	149	204	185	190	191	241	184
REQ-002	154	133	142	155	125	119	72	130	157	150	146	145	136
REQ-041	134	15	123	147	128	137	131	110	174	159	154	142	129
REQ-044	133	138	128	126	127	109	67	97	119	136	135	127	120
REQ-054	195	211	186	198	153	91	121	-	104	124	175	197	159
REQ-096	-	-	389	337	343	317	238	-	-	-	-	-	325
REQ-103	-	-	126	161	147	102	66	-	-	-	-	-	121
moyenne	146	140	159	156	150	132	122	106	113	125	133	140	143

Note : les consommations d'eau du client REQ-052 ne sont pas disponibles pour plusieurs mois car le robinet de contournement avait été laissé ouvert par le contracteur. Le robinet de contournement a été remis en bonne position en mars 2011 seulement. Par ailleurs, la campagne de mesurage des clients REQ-096 et REQ-103 a commencé en mars 2011 seulement et celle du client REQ-054, en septembre 2010.

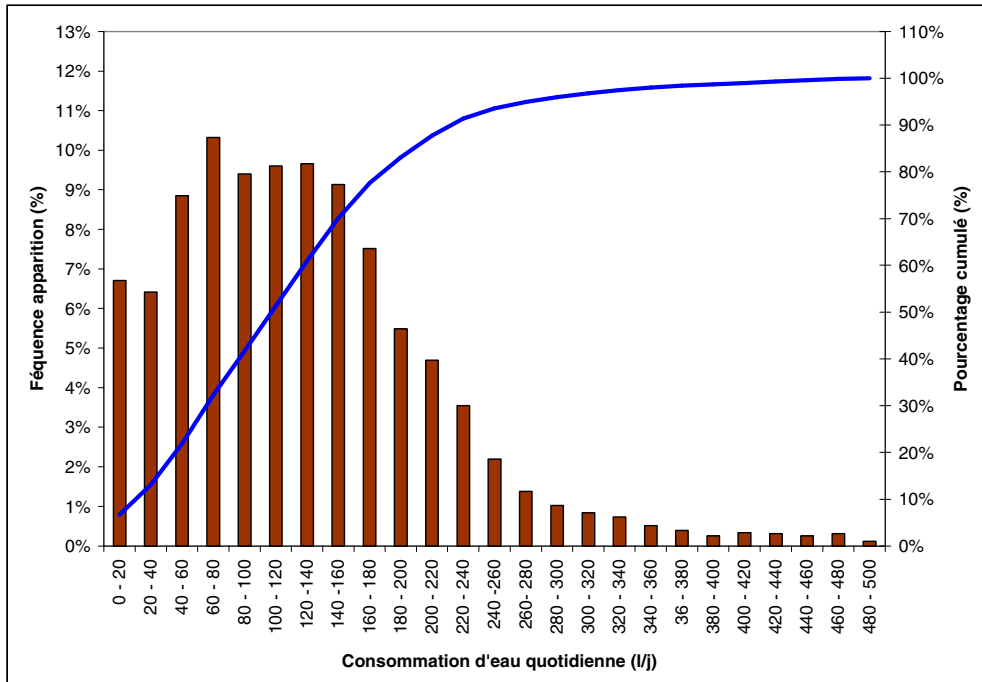


Figure 2.4 : Nombre d'occurrences des consommations d'eau chaude journalières de tous les clients pendant la campagne de mesurage

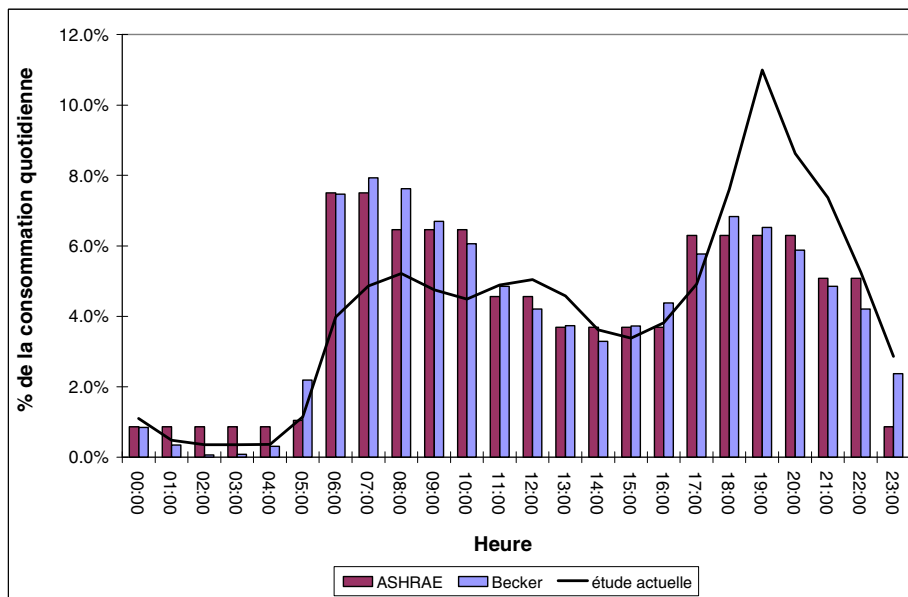


Figure 2.5 : Profils journaliers moyens de consommation d'eau pendant la campagne de mesurage (ASHRAE [10], Becker [11])

Sur une base annuelle, la température moyenne de l'eau froide mesurée à l'entrée a été de 10 °C pour l'ensemble des clients. Selon les mois cependant, cette température a grandement varié, passant de 6 °C pour la moyenne du groupe pendant les mois d'hiver à 15 °C pendant les mois d'été (voir figure 2.6). Cette variation saisonnière de la température de l'aqueduc n'est pas anormale et elle s'approche, tant qu'à la forme et qu'à l'ordre de grandeur des valeurs, à ce qui a été observé ailleurs [12]. Le lecteur notera par ailleurs qu'au sein du groupe, il y a une relativement grande disparité de température de l'aqueduc. Par exemple, la température de l'aqueduc observée chez plusieurs clients est aussi basse que 2 °C pendant la période hivernale, tandis qu'elle peut être d'environ 10 °C pour d'autres clients pour cette même période. En général, au sein de l'échantillon de clients, l'écart-type des températures mensuelles de l'aqueduc autour de la moyenne est d'environ 3 °C.

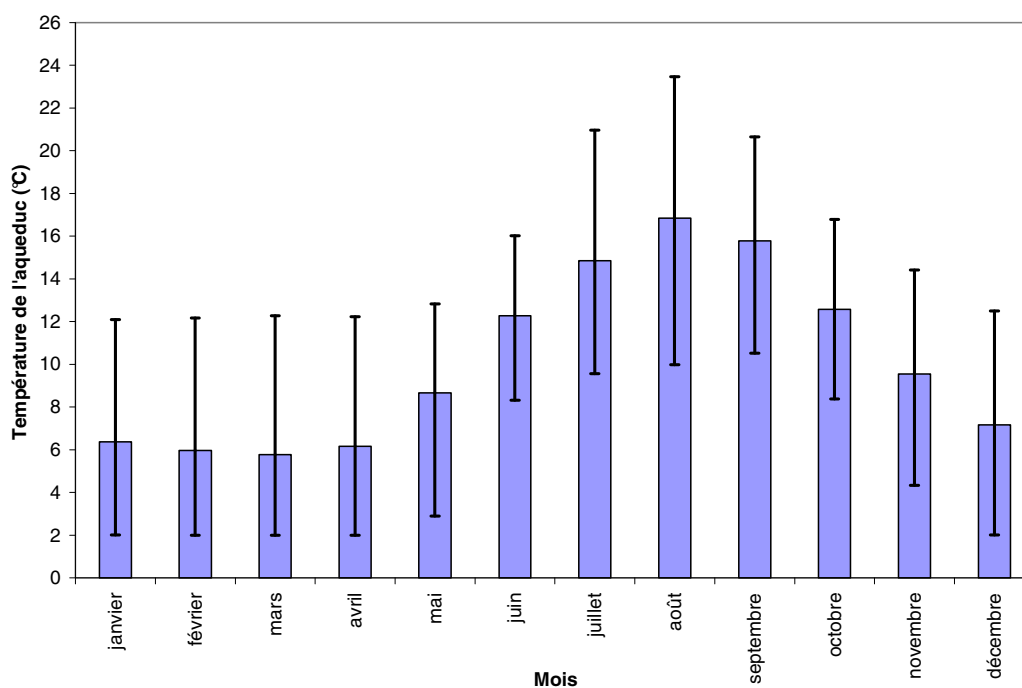


Figure 2.6 : Température de l'aqueduc selon le mois (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)

2.3 Nombre d'heures d'opération des systèmes solaires

Le nombre d'heures d'opération des panneaux solaires correspond au nombre d'heures pendant lesquelles la pompe de circulation du fluide caloporteur (glycol) est en fonction, permettant de

préchauffer l'eau chaude sanitaire dans le réservoir tampon. Le nombre d'heures d'opération dépend de plusieurs facteurs. Il dépend non seulement de l'ensoleillement mais aussi de la température régnant dans le réservoir tampon (la pompe ne fonctionnera pas si la température dans le réservoir tampon est supérieure à la température au panneau solaire). Or, la température dans le réservoir tampon est affectée par le profil et le volume de consommation d'eau chaude, le volume du réservoir tampon, la surface des panneaux solaires, le débit de la pompe, etc. L'analyse des heures d'opération de chacun des systèmes permet donc de savoir si celui-ci est bien proportionné par rapport au besoin. Par exemple, un système solaire fonctionnera peu si la surface des panneaux est surdimensionnée par rapport à la consommation d'eau étant donné que le réservoir tampon sera dans ce cas souvent en situation de surchauffe, empêchant la mise en marche de la pompe.

L'analyse des heures d'opération d'un système solaire permet également de savoir si celui-ci fonctionne correctement et ne présente pas de trouble technique.

Dans cette étude, le nombre d'heures d'opération des panneaux solaires a été quantifié en analysant la température du glycol entrant et sortant de l'échangeur de chaleur. Plus spécifiquement, la pompe fut considérée comme étant en marche si le glycol sortant de l'échangeur était plus froid que celui entrant dans l'échangeur lors des journées ensoleillées. Les 2 critères suivants devaient être respectés pour considérer que la pompe était en fonction :

(Temp. glycol entrant dans l'échangeur – Temp. glycol sortant de l'échangeur) > 2°C
Rayonnement solaire incident sur les panneaux > 200 W/m²

Ces 2 derniers critères sont redondants pour déterminer si la pompe est en fonction. En effet, s'il y a un rayonnement solaire frappant les panneaux solaires, la température entrant dans l'échangeur sera implicitement supérieure à celle en sortant lorsque la pompe fonctionne. Toutefois, dû à la convection naturelle dans les tuyaux de glycol lorsqu'il n'y a pas de circulation de glycol, il peut survenir des situations, même en l'absence de soleil, où la température entrant dans l'échangeur est « naturellement » supérieure à celle en sortant. La prise en compte d'un critère d'ensoleillement ajoute donc de la redondance et plus de certitude à l'évaluation du nombre d'heures d'opération de la pompe.

Le tableau 2.4 donne pour chaque client le nombre d'heures d'opération mensuel des chauffe-eau solaires ainsi que le nombre d'heures d'ensoleillement pendant lequel le rayonnement solaire incident sur les panneaux est supérieur à 200 W/m². Les ratios entre ces deux quantités, appelés

taux d'opération, sont donnés au tableau 2.5 et sur la figure 2.7. Il appert les constats suivants de ces résultats :

- les panneaux solaires sont en opération la majorité du temps lorsqu'il fait soleil pendant la période estivale comprise entre avril et novembre, inclusivement. En effet, pour une majorité de clients, le taux de fonctionnement est supérieur à 80 % pendant ces mois, avec une valeur moyenne d'ensemble d'environ 85 % ;
- pour la plupart des clients, le taux d'opération est significativement plus bas en hiver, soit de décembre à la fin mars. De fait, la moyenne du groupe chute à 63 % pendant cette période, avec plusieurs installations ayant un taux d'opération inférieur à 50 %, principalement en décembre et janvier. Deux hypothèses peuvent expliquer ce résultat : 1/ la température extérieure étant plus froide en hiver, le rendement des panneaux solaires diminue, rendant plus difficile l'échauffement du fluide caloporteur et le démarrage de la pompe de circulation ; 2/ la présence occasionnelle de neige sur les panneaux solaires empêche ceux-ci d'échauffer le fluide caloporteur même en présence de soleil.

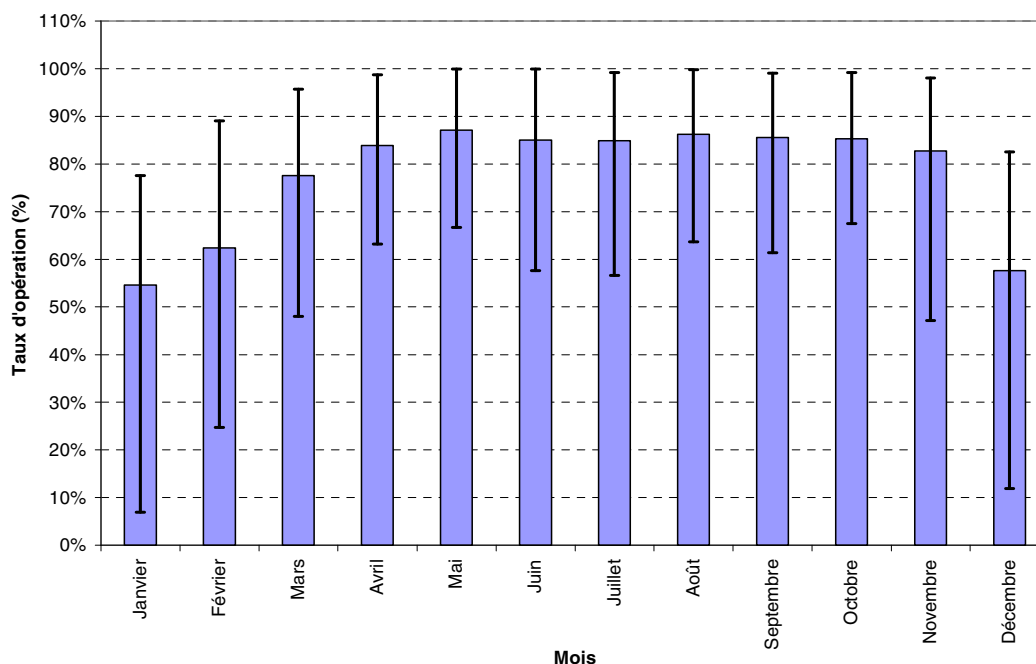


Figure 2.7 : Taux d'opération des chauffe-eau solaire selon le mois (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)

Tableau 2.4 : Nombre d'heures mensuel d'ensoleillement et de fonctionnement de la pompe des systèmes solaires

Clients	janvier		février		mars		avril		mai		juin		juillet		août		septembre		octobre		novembre		décembre		
	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	Heure d'opération par mois	Heure d'ensoleillement par mois	
	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois	heure/mois
REQ-027	53.3	72.0	83.7	104.4	145.2	154.7	133.2	137.9	154.3	156.9	178.8	183.1	201.3	217.9	190.4	191.4	120.7	122.1	93.7	94.5	67.6	68.9	25.2	39.0	
REQ-051	83.1	109.7	104.6	128.4	154.1	190.5	172.7	190.3	163.4	174.8	195.8	215.1	237.4	261.6	216.3	228.8	143.7	150.9	141.7	154.9	107.8	121.2	69.3	87.9	
REQ-045	8.8	100.3	80.1	126.6	152.6	196.5	163.1	191.1	147.1	171.5	193.0	221.4	208.1	261.0	-	230.6	-	153.4	-	152.4	84.2	119.2	48.9	74.4	
REQ-023	17.8	103.7	32.8	130.2	93.5	194.8	131.7	185.5	145.7	184.3	158.2	210.8	231.8	267.8	181.8	169.8	128.1	169.8	104.8	141.8	85.6	122.7	16.4	72.9	
REQ-043	62.8	81.8	95.9	108.2	154.2	161.1	140.0	141.7	128.2	128.2	137.1	137.2	171.5	172.9	148.3	161.7	94.7	107.5	103.0	111.0	101.6	107.2	42.8	53.8	
REQ-031	46.1	127.2	41.7	127.7	114.0	200.6	158.7	188.5	177.2	203.0	219.3	251.6	229.1	272.6	213.1	246.1	133.2	145.1	122.7	130.0	87.7	102.4	25.0	55.2	
REQ-049	58.9	121.5	67.3	133.9	136.2	188.7	125.7	174.5	118.0	176.8	124.8	216.7	154.4	272.7	148.4	233.1	89.2	145.0	88.8	131.5	67.0	100.7	30.8	66.5	
REQ-046	65.3	111.2	88.2	136.7	150.8	197.3	147.6	185.8	156.8	197.8	163.9	214.3	219.3	272.5	199.2	229.7	123.3	152.4	114.9	137.5	100.7	123.5	43.4	71.9	
REQ-025	81.6	105.2	115.1	129.2	167.7	187.2	156.0	174.3	159.3	176.8	173.5	199.3	224.8	260.3	192.5	235.0	134.3	155.5	120.9	138.6	110.3	123.9	47.8	64.8	
REQ-026	57.1	91.4	76.5	120.3	138.2	172.4	128.2	167.0	181.8	191.8	201.8	214.9	218.9	242.4	187.1	199.3	124.2	134.2	91.4	104.7	65.0	73.7	18.7	49.3	
REQ-036	74.1	108.5	93.2	137.0	126.4	181.0	105.7	146.2	126.7	150.5	124.8	164.3	163.8	203.8	161.4	194.3	100.4	133.0	103.6	127.3	75.2	86.1	36.7	55.6	
REQ-040	45.2	135.2	41.2	166.5	155.5	224.5	152.8	195.9	188.1	218.2	188.1	251.7	212.1	297.0	227.7	263.6	153.9	185.0	126.1	156.0	107.7	130.4	45.8	87.4	
REQ-052	82.3	123.4	98.4	142.2	138.8	219.9	135.6	214.7	156.7	218.4	167.7	224.1	201.3	250.8	193.8	254.3	115.1	153.9	65.0	93.2	44.4	71.6	26.9	55.6	
REQ-024	74.3	100.7	118.5	135.7	178.6	191.8	171.4	181.5	176.1	185.3	195.3	208.8	244.8	261.6	213.7	237.6	147.3	159.3	126.2	142.1	111.0	120.3	40.4	65.6	
REQ-042	47.4	82.6	92.9	117.8	159.3	180.3	163.0	175.5	161.3	169.7	191.8	204.3	248.2	263.0	193.3	211.3	119.0	124.7	108.2	116.0	97.2	107.4	37.1	51.9	
REQ-048	60.0	89.1	85.4	124.3	147.9	184.8	137.1	155.7	171.9	186.5	183.4	208.3	241.4	256.8	194.3	224.3	122.8	151.8	112.2	118.8	87.2	94.9	35.0	48.5	
REQ-004	3.8	54.1	38.3	101.0	111.2	148.2	141.6	145.2	174.8	175.8	162.3	166.1	186.2	189.3	176.7	177.1	104.7	105.7	83.7	88.8	52.3	60.8	2.6	21.7	
REQ-002	-	115.9	-	158.8	-	214.7	-	206.2	-	244.5	-	276.0	-	313.1	-	222.3	271.8	137.8	185.7	100.7	149.2	50.7	107.4	76.4	-
REQ-041	89.5	132.4	93.7	167.6	170.8	230.6	159.0	189.8	180.4	207.9	219.8	237.2	261.5	281.5	207.5	258.3	169.3	182.8	132.8	149.5	104.2	119.4	63.2	96.8	
REQ-044	79.5	111.3	117.9	139.2	165.0	191.7	158.7	171.2	173.3	186.6	200.1	217.8	242.0	266.1	223.8	236.3	147.7	161.8	127.2	139.0	110.0	117.4	57.7	69.8	
REQ-054	54.4	126.1	48.5	145.2	173.9	226.0	143.7	189.1	136.5	195.3	147.8	231.3	178.7	283.9	-	-	117.1	144.9	101.7	131.9	90.1	108.2	32.2	70.1	
REQ-096	-	-	-	-	103.7	132.3	144.3	188.3	152.6	190.8	190.2	225.8	206.8	251.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
REQ-103	-	-	-	-	97.9	120.3	152.2	178.2	164.2	185.2	186.4	215.8	112.7	140.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
moyenne:	57.3	104.9	80.7	132.4	142.5	186.5	146.4	177.1	158.8	185.9	177.5	212.9	208.9	250.5	193.8	226.5	126.3	148.8	108.5	129.0	86.1	104.2	37.3	63.6	

Tableau 2.5 : Taux d'opération mensuel des chauffe-eau solaires

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Moyenne
	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	Taux d'opération %	
REQ-027	74%	80%	94%	97%	98%	98%	92%	99%	99%	99%	98%	65%	91%
REQ-051	76%	81%	81%	91%	93%	91%	91%	95%	95%	92%	89%	79%	88%
REQ-045	9%	63%	78%	85%	86%	87%	80%	-	-	-	71%	66%	69%
REQ-023	17%	25%	48%	71%	79%	75%	87%	74%	75%	74%	70%	23%	60%
REQ-043	77%	89%	96%	98%	100%	100%	99%	92%	88%	93%	95%	79%	92%
REQ-031	36%	33%	57%	84%	87%	87%	84%	87%	92%	94%	86%	45%	73%
REQ-049	48%	50%	72%	72%	67%	58%	57%	64%	61%	68%	67%	46%	61%
REQ-046	59%	65%	76%	79%	79%	77%	80%	82%	81%	84%	82%	60%	75%
REQ-025	78%	89%	90%	89%	90%	87%	86%	82%	86%	87%	89%	74%	86%
REQ-026	62%	64%	80%	77%	95%	94%	90%	94%	93%	87%	88%	38%	80%
REQ-036	68%	68%	70%	72%	84%	76%	80%	83%	76%	81%	87%	66%	76%
REQ-040	33%	25%	69%	78%	86%	75%	71%	86%	83%	81%	83%	52%	69%
REQ-052	67%	69%	63%	63%	72%	75%	80%	76%	75%	70%	62%	48%	68%
REQ-024	74%	87%	93%	94%	95%	94%	94%	90%	92%	89%	92%	62%	88%
REQ-042	57%	79%	88%	93%	95%	94%	94%	91%	95%	93%	90%	71%	87%
REQ-048	67%	69%	80%	88%	92%	88%	94%	87%	81%	94%	92%	72%	84%
REQ-004	7%	38%	75%	97%	99%	98%	98%	100%	99%	94%	86%	12%	75%
REQ-002	-	-	-	-	-	-	-	82%	74%	68%	47%	-	68%
REQ-041	68%	56%	74%	84%	87%	93%	93%	80%	93%	89%	87%	65%	81%
REQ-044	71%	85%	86%	93%	93%	92%	91%	94%	91%	92%	94%	83%	89%
REQ-054	43%	33%	77%	76%	70%	64%	63%	-	81%	77%	83%	46%	65%
REQ-096	-	-	78%	77%	80%	84%	82%	-	-	-	-	-	80%
REQ-103	-	-	81%	85%	89%	86%	80%	-	-	-	-	-	84%
moyenne	55%	62%	78%	84%	87%	85%	85%	86%	86%	85%	83%	58%	

La figure 2.8 est la forme graphique permettant, d'un coup d'œil, de visualiser la bonne marche des systèmes solaires pendant le projet. Cette figure donne la carte de suivi, jour par jour et client par client, du nombre d'heures d'opération quotidien de la pompe de glycol pendant tout la durée de la campagne de mesurage. Pour les besoins de compréhension de cette figure, les zones rouges correspondent à des journées dans l'année où la pompe a fonctionné plusieurs heures par jour, tandis que les zones bleues sont des journées de faible durée d'opération. Les zones grises sont par ailleurs des périodes pour lesquelles aucune donnée de mesurage n'était disponible, soit parce que le système n'était pas en fonction (client REQ-0002 dont le système a été arrêté par le client en novembre 2010, client REQ-045 dont le système fut mis en fonction en novembre 2010), ou soit parce que la campagne de mesurage n'était pas commencée (clients REQ-096, REQ-103, REQ-54). L'examen de cette figure illustre clairement que les pompes des systèmes solaires ont fonctionné beaucoup pendant les mois de la période estivale mais que, au fur et à mesure que l'on passe des mois d'été vers ceux d'hiver, le nombre d'heures d'opération des pompes a diminué de manière importante. Ainsi, à partir de la fin novembre et jusqu'au début du mois de mars, les pompes de plusieurs systèmes ont fonctionné souvent moins de 2 heures par jour (zone bleue foncée), tandis qu'au cœur de l'été (mai, juin, juillet, août), elles ont fonctionné souvent au-delà de 6 heures par jour (zones jaune et rouge), soit 3 fois plus qu'en hiver. Comme le démontrera la section 2.5 et comme le veut le sens commun, ceci se traduira par des économies plus importantes en été comparativement à l'hiver.

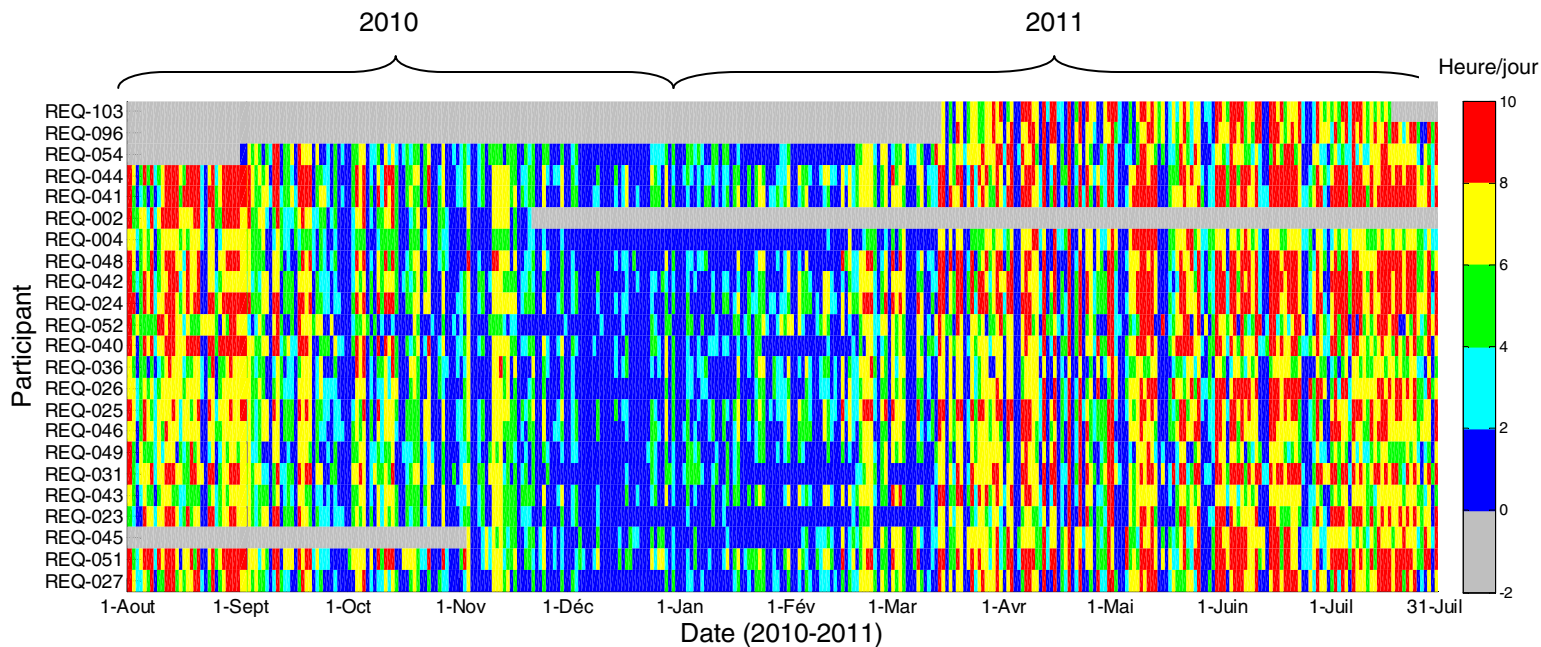


Figure 2.8 : Carte de suivi de la durée quotidienne d'opération de la pompe (heures/jour)

2.4 Température de stockage dans les réservoirs tampons

Le tableau 2.6 donne pour chacun des clients la température de stockage moyenne mensuelle ayant été mesurée dans les réservoirs tampons des chauffe-eau solaires. Il s'agit, comme mentionné à la section 1.4, de la température mesurée dans la partie supérieure du réservoir tampon. À cause de la stratification de la température dans le réservoir tampon, qui est importante en particulier dans les systèmes avec thermosiphon, cette température de stockage est donc supérieure à la température moyenne de l'eau sur toute la hauteur du réservoir. Il s'agit toutefois de la température de l'eau qui dessert le réservoir électrique qui est en aval pour en réduire sa consommation énergétique.

Comme anticipé, le tableau 2.6 démontre que la température de stockage est significativement plus élevée pendant la période estivale, lorsqu'il y a beaucoup de soleil, comparativement à la période hivernale. Ainsi, pendant les mois d'été, la température moyenne de stockage du groupe se situe à une valeur supérieure à 50 °C tandis qu'elle est inférieure à 20 °C en décembre et janvier. Ces résultats sont en accord avec les observations faites au sujet des heures de fonctionnement des systèmes solaires (section 2.3), c'est-à-dire que la température de stockage est le reflet du nombre d'heures d'opération des chauffe-eau solaires selon la saison. La disparité autour de la moyenne du groupe est toutefois importante, se situant mensuellement environ à 30 °C entre les valeurs maximales et minimales (figure 2.9). Plusieurs facteurs expliquent cette disparité : volume de stockage, consommation d'eau, surface des panneaux solaires, température de l'aqueduc. Mais quoiqu'il en soit, tous les clients présentent le même patron d'évolution de la température de stockage au cours de l'année, soit une température de stockage plus élevée en été qu'en hiver.

Tableau 2.6 : Température moyenne mensuelle de stockage dans le réservoir tampon

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)	température moyenne de stockage (°C)
REQ-027	12.7	28.2	38.6	36.0	35.2	40.8	42.1	48.7	42.0	30.5	26.4	12.7
REQ-051	24.5	35.3	43.1	45.1	44.9	53.9	60.2	52.9	43.0	35.8	20.2	22.8
REQ-045	24.2	33.4	48.9	53.8	50.3	63.0	73.8	-	-	-	38.9	26.7
REQ-023	9.8	14.5	25.7	38.6	37.7	48.5	46.7	48.0	40.2	28.4	26.1	11.5
REQ-043	13.6	16.6	22.6	26.2	27.9	36.3	44.4	55.8	48.8	38.9	31.9	17.7
REQ-031	24.0	23.3	37.6	49.8	51.3	57.6	68.8	62.7	47.9	37.7	31.2	21.1
REQ-049	40.1	39.3	41.4	43.4	50.3	66.9	73.6	68.4	61.0	45.2	41.0	32.7
REQ-046	18.1	29.9	42.6	44.3	48.0	56.4	61.4	60.8	51.7	44.0	37.4	19.6
REQ-025	10.8	19.9	30.2	36.5	40.6	54.2	62.4	62.5	50.6	37.9	30.5	16.9
REQ-026	17.8	29.8	32.3	36.6	39.6	46.6	56.2	49.0	40.3	32.2	29.2	16.5
REQ-036	18.2	19.0	20.9	21.1	20.0	23.6	30.2	40.3	32.8	26.3	23.9	16.9
REQ-040	16.3	19.1	32.1	32.1	33.1	43.0	49.1	48.4	38.1	32.3	27.9	17.5
REQ-052	17.7	18.1	19.7	22.5	23.6	25.7	28.6	37.3	25.9	21.5	20.5	18.3
REQ-024	8.8	12.7	24.1	29.9	37.4	43.6	51.0	50.0	39.8	30.7	24.0	11.6
REQ-042	14.0	17.2	26.7	33.9	35.3	45.9	53.5	53.7	38.1	30.8	21.9	15.6
REQ-048	25.1	37.9	48.7	47.5	51.8	59.2	58.5	67.1	59.8	47.1	41.6	21.5
REQ-004	19.0	18.1	21.3	27.8	39.3	44.5	45.7	37.4	29.0	24.7	21.8	16.8
REQ-002	-	-	-	-	-	-	-	45.7	31.2	26.8	21.1	-
REQ-041	22.1	25.6	14.5	14.2	16.3	34.5	49.7	50.7	44.3	38.7	33.3	22.6
REQ-044	18.9	29.2	40.0	41.4	43.8	53.3	62.7	59.1	49.8	40.4	34.3	21.4
REQ-054	14.5	15.5	27.7	32.4	36.3	55.1	60.0	-	44.6	36.5	22.5	12.9
REQ-096	-	-	14.6	23.5	27.2	38.6	48.5	-	-	-	-	-
REQ-103	-	-	19.8	30.5	33.3	48.7	34.8	-	-	-	-	-
moenne:	18.5	24.1	30.6	34.9	37.4	47.3	52.8	52.6	42.9	34.3	28.8	18.6

Note : À cause de la configuration particulière du système, la température de stockage des clients REQ-052 et REQ-049 n'a pas été mesurée directement. Elle a cependant été déduite à partir des températures mesurées à la sortie des échangeurs.

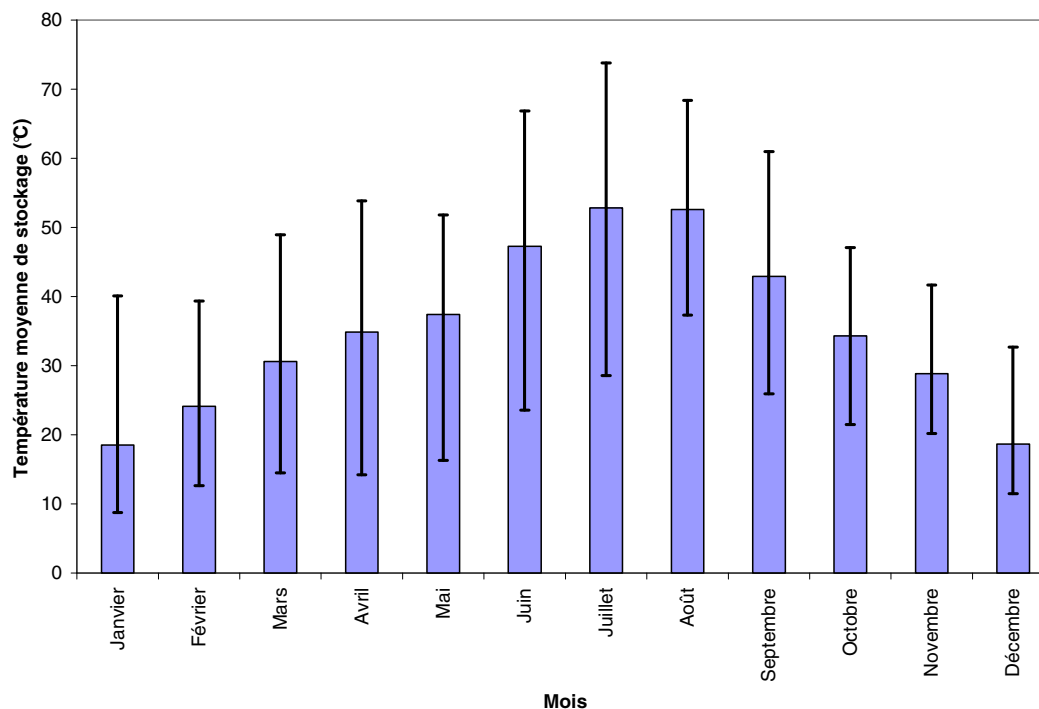


Figure 2.9 : Température mensuelle de stockage (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)

La température de l'eau atteinte dans le réservoir tampon peut être très élevée, particulièrement en été. En effet, la campagne de mesurage a démontré que la température dans la partie supérieure du réservoir tampon peut atteindre une valeur supérieure à 70 °C. À ces températures, les risques de brûlures sont non négligeables. A titre comparatif, il faut 5 secondes pour causer une brûlure du 2^{ième} degré avec de l'eau à 60 °C. À 65 °C, il faut 2 secondes. À 70 °C, les brûlures sont instantanées [13]. Dans les cas où le réservoir tampon dessert directement la maison ou dans tous les cas où l'eau chaude sortant du réservoir tampon passe à travers un chauffe-eau direct avant d'alimenter la maison, il est donc impératif d'installer une vanne de mélange à la sortie du réservoir tampon pour réduire les risques de brûlure, tel que recommandé par la norme CAN/CSA F383.

La configuration d'installation la plus fréquente est toutefois celle où l'eau du réservoir tampon se déverse dans un chauffe-eau domestique qui dessert ensuite la maison en eau chaude (figure 1.1) Pour ces configurations, il a été noté que l'eau chaude du réservoir tampon se « dilue » dans le volume d'eau du chauffe-eau domestique. L'eau qui sort de ce dernier pour alimenter la maison ne se trouve donc pas affectée par l'eau chaude dans le réservoir tampon. La figure 2.10 illustre ce propos. Cette figure démontre que même si l'eau au sommet du réservoir tampon atteint des valeurs supérieures à 70 °C, la température au sommet du chauffe-eau domestique demeure invariablement à sa valeur de consigne, soit environ 60 °C. Le fait que l'eau chaude du réservoir tampon se déverse à la base du chauffe-eau domestique explique en bonne partie ce résultat. Ce constat n'exclut cependant pas la nécessité d'installer une vanne de mélange à la sortie du système. En effet, la révision 2008 de la norme CAN/CSA F383 prévoit une installation d'une vanne de mélange à la sortie d'un chauffe-eau lorsque l'eau peut atteindre une valeur supérieure à 49°C. Or, les chauffe-eau domestiques sont habituellement réglés pour maintenir l'eau à 60°C. Une vanne de mélange devra donc être installée, quoiqu'il en soit, après l'adoption de la norme.

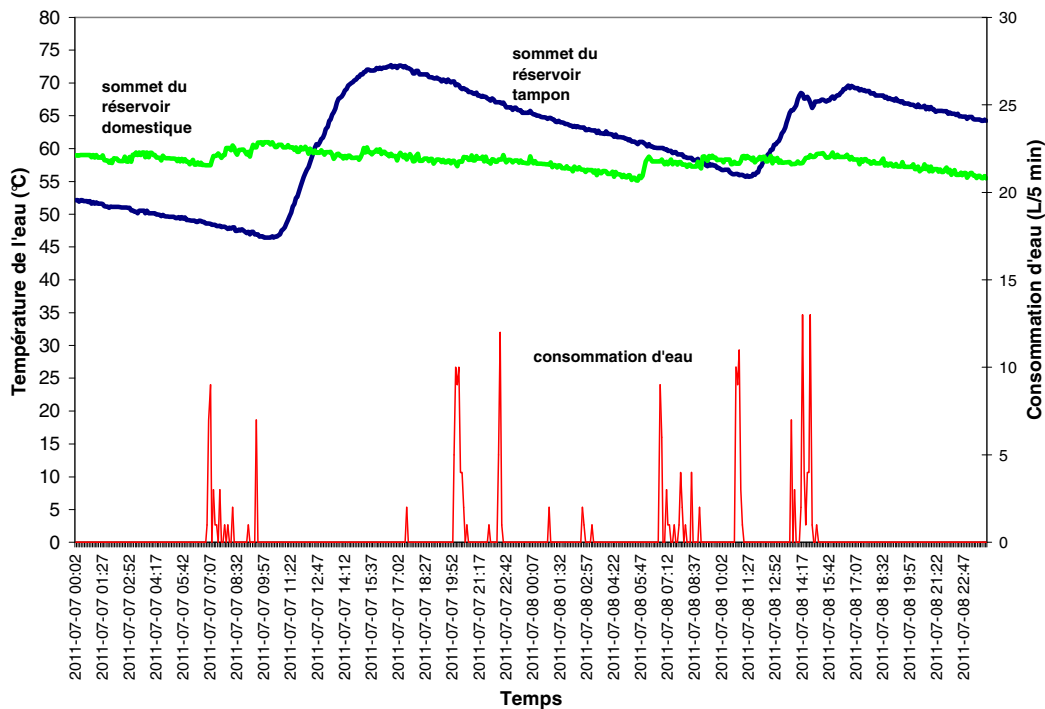


Figure 2.10 : Incidence de la température de l'eau dans le réservoir tampon sur la température de l'eau au sommet du réservoir domestique (exemple du client REQ-041)

2.5 Impact des chauffe-eau solaires sur la consommation et la facture énergétique

L'impact des chauffe-eau solaires sur la consommation énergétique a été déterminé en comparant ce qu'aurait été la consommation énergétique avant l'installation du chauffe-eau solaire (E_{avant}) à celle mesurée après l'installation du chauffe-eau solaire ($E_{après}$). Les économies entre les 2 situations s'évaluent simplement par la relation :

$$Economie = E_{avant} - E_{après} \quad (2)$$

Puisque aucune donnée de mesurage n'était disponible avant l'installation des systèmes solaires, la consommation E_{avant} a été estimée en posant que l'eau froide de l'aqueduc entrerait directement dans le chauffe-eau domestique. Les hypothèses suivantes furent posées pour évaluer E_{avant} : 1/ la consommation d'eau chaude avant les installations est la même que celle mesurée pendant le projet ; 2/ la température de l'eau chaude qui alimente la maison avant les installations est la même que celle mesurée pendant le projet ; 3/ si applicable, la valeur de la charge de chauffage d'espace

qui a été comblée par le système solaire pendant le projet est celle qui aurait été comblée par un système classique avant les installations.

Par ailleurs, la consommation $E_{\text{après}}$ a été évaluée directement à partir de la consommation électrique, si évidemment celle-ci avait été mesurée. Pour les systèmes dont la consommation électrique n'était pas mesurée (ex : chauffe-eau gaz, chauffe-eau au mazout, chauffe-eau direct), la consommation $E_{\text{après}}$ a été évaluée, à l'instar de E_{avant} , par bilan énergétique.

Le tableau 2.7 donne sur une base mensuelle les consommations énergétiques E_{avant} et $E_{\text{après}}$ ainsi évaluées pour chacun des clients. Les économies entre les 2 situations sont données au tableau 2.8. Ce dernier tableau donne également les économies monétaires annuelles pour chacune des installations. Dans ces 2 tableaux, les quelques valeurs E_{avant} et $E_{\text{après}}$ des mois pour lesquelles aucune donnée de mesurage n'était disponible ou pour lesquelles les systèmes solaires ne fonctionnaient pas (voir tableau 1.2) ont été estimées de manière à uniformiser sur une base annuelle les économies d'énergie de toutes les installations. Ces estimations sont indiquées en rouge dans les tableaux afin de les distinguer des valeurs calculées à partir du mesurage.

Du tableau 2.8, il appert que la plage des économies énergétiques annuelles des 23 installations est vaste, se chiffrant entre 378 et 2084 kWh/an. La moyenne annuelle pour le groupe est de 1215 kWh. Comme anticipé suite aux résultats exposés dans les sections 2.3 et 2.4, les économies d'énergie sont plus importantes pendant les mois d'été (figure 2.11). De fait, en moyenne, les économies mensuelles entre avril et août sont presque 3 fois supérieures à celles de décembre et janvier. Au global, c'est 76 % des économies annuelles qui se réalisent pendant la période estivale comprise entre avril et novembre (inclusivement). La disparité des économies d'énergie au sein du groupe est attribuable à plusieurs facteurs (surface des panneaux, ensoleillement, consommation d'eau, volume de stockage). L'étude des résultats indique cependant une bonne corrélation entre la consommation d'eau et les économies d'énergie annuelle, comme le démontre la figure 2.12. Une telle corrélation avait déjà été notée dans une étude française [14]. Comme l'indique la figure 2.12, les économies d'énergie tendent à augmenter avec la consommation d'eau, en précisant toutefois qu'il y a une disparité autour de cette tendance moyenne. La pente de croissance est de 7.7 kWh/litre, c'est-à-dire que chaque litre d'eau consommée quotidiennement par un client s'accompagne, en première approche, d'une économie d'énergie annuelle de 7.7 kWh. Par exemple, une économie annuelle d'énergie de 1540 kWh peut être sommairement anticipée pour un client ayant une consommation d'eau quotidienne moyenne de 200 litres. Il s'agit d'une règle empirique facile à utiliser pour une première estimation des économies d'énergie annuelle associées à l'utilisation des chauffe-eau solaires dans un contexte québécois. Il est intéressant de

noter que la référence [14] a obtenu expérimentalement une pente de croissance d'environ 8 kWh/litre. Il est important de souligner que cette règle empirique est valable pour des chauffe-eau solaires « classiques » et dans une plage « normale » de consommation d'eau résidentielle et qu'elle ne peut servir à extrapoler outre-mesure les économies d'énergie compte tenu des limites physiques du système ; les économies d'énergie ne peuvent excéder le rayonnement solaire capté et transformé en chaleur par les panneaux.

Tableau 2.7 : Consommation énergétique avant et après l'installation des chauffe-eau solaires

	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre		Annuelle	
	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/mois	Cons. éner. APRES kWh/mois	Cons. éner. AVANT kWh/an	Cons. éner. APRES kWh/an
REQ-027	92	70	42	23	40	6	39	7	43	8	35	3	30	2	60	4	41	5	59	22	60	33	85	65	625	247
REQ-051	350	288	301	213	343	200	357	179	318	178	280	118	295	100	334	119	294	174	266	199	393	322	394	327	3926	2417
REQ-045	269	185	292	140	323	82	314	48	283	62	201	11	97	1	160	0	189	13	257	85	270	118	350	217	3005	961
REQ-023	161	155	138	127	138	108	143	92	156	97	142	82	202	120	135	84	152	102	191	136	165	121	193	181	1916	1404
REQ-043	797	797	787	687	883	682	747	564	814	610	605	367	407	157	222	103	168	89	295	180	371	240	584	550	6680	5027
REQ-031	204	181	194	162	235	156	215	100	213	97	198	80	145	65	180	71	199	106	231	157	225	174	172	167	2411	1516
REQ-049	172	92	190	84	252	85	238	75	236	71	169	21	161	9	152	12	157	34	194	75	168	81	148	97	2236	736
REQ-046	129	109	141	96	168	80	184	74	121	54	111	39	107	30	116	30	95	43	109	60	129	76	151	123	1561	814
REQ-025	412	378	390	311	418	289	323	208	313	200	215	125	209	98	168	96	185	122	241	178	277	213	259	240	3411	2459
REQ-026	349	263	223	108	369	204	294	117	324	126	290	79	167	17	241	59	220	99	292	188	274	171	378	306	3421	1737
REQ-036	295	239	314	231	340	232	328	242	324	245	274	192	250	161	159	107	193	152	255	201	300	237	285	265	3315	2504
REQ-040	220	185	208	162	239	133	240	134	275	149	197	79	182	56	177	59	195	92	195	113	193	126	209	171	2531	1457
REQ-052	441	307	406	274	396	319	427	259	461	248	350	183	448	173	424	203	368	272	405	308	414	301	442	321	4983	3170
REQ-024	378	342	305	260	311	219	310	184	263	146	267	128	215	72	216	89	225	123	279	181	302	216	387	336	3457	2295
REQ-042	383	328	387	296	417	253	394	205	363	186	289	109	273	57	216	91	303	182	328	223	372	278	364	312	4090	2520
REQ-048	283	218	141	71	136	24	120	15	109	11	76	3	128	3	61	3	40	11	115	30	121	39	117	78	1445	507
REQ-004	144	120	226	202	267	205	265	155	194	60	180	35	228	60	253	62	185	67	224	139	197	143	271	268	2635	1517
REQ-002	318	277	262	209	297	210	292	189	246	156	223	125	161	82	280	133	306	195	310	229	293	246	306	273	3295	2326
REQ-041	311	283	75	24	309	309	326	326	294	294	293	201	277	134	241	91	343	173	340	213	324	235	326	296	3458	2577
REQ-044	297	207	278	154	293	125	276	107	263	105	208	51	121	7	174	30	204	73	262	122	267	145	282	198	2925	1324
REQ-054	341	294	334	277	334	207	344	168	284	134	180	57	223	52	186	48	172	86	224	161	292	208	344	313	3259	2004
REQ-096	613	529	551	433	731	457	624	422	634	412	512	281	373	129	419	210	426	268	513	366	545	417	585	517	6527	4443
REQ-103	351	320	316	272	360	268	413	313	391	319	267	174	204	111	240	164	244	186	294	240	312	265	335	310	3727	2943

Note : les valeurs marquées en rouge sont des estimations pour combler des mois où le chauffe-eau solaire n'était pas en fonction

Tableau 2.8 : Économie associée aux installations solaires

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année	Année
	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie mensuelle kWh/mois	Économie annuelle kWh/an	Économie annuelle \$
REQ-027	22	20	34	32	35	33	28	56	36	37	27	19	378	31 \$
REQ-051	63	88	142	178	140	162	195	215	120	68	71	66	1508	113 \$
REQ-045	85	152	240	267	220	190	97	160	176	172	152	132	2044	170 \$
REQ-023	6	10	30	51	60	60	83	51	50	56	44	12	512	38 \$
REQ-043	0	100	201	183	204	238	250	118	79	115	131	34	1653	133 \$
REQ-031	24	32	78	115	115	118	80	109	93	74	51	5	895	67 \$
REQ-049	80	106	167	163	165	148	152	140	123	118	87	51	1500	113 \$
REQ-046	20	45	87	110	67	72	77	86	53	49	53	29	748	56 \$
REQ-025	34	79	129	115	113	90	111	72	64	63	64	19	952	72 \$
REQ-026	87	114	165	177	198	211	150	182	120	103	103	73	1683	153 \$
REQ-036	56	83	107	85	79	82	89	52	40	53	62	20	811	61 \$
REQ-040	36	46	106	106	126	119	125	118	103	82	67	39	1074	81 \$
REQ-052	134	132	78	168	213	167	275	221	97	97	114	120	1814	136 \$
REQ-024	36	46	92	126	117	139	143	127	102	98	86	51	1162	87 \$
REQ-042	56	91	164	189	177	180	216	125	120	106	94	53	1571	118 \$
REQ-048	65	70	112	104	98	73	125	58	28	85	81	38	939	70 \$
REQ-004	25	24	63	110	134	145	168	190	118	85	54	2	1118	84 \$
REQ-002	41	53	88	103	90	98	79	147	111	81	47	33	969	73 \$
REQ-041	28	51	0	0	0	92	143	150	170	127	88	31	881	66 \$
REQ-044	90	124	168	169	158	157	114	145	131	140	122	84	1601	120 \$
REQ-054	47	56	128	176	150	123	171	139	86	63	84	32	1255	94 \$
REQ-096	84	118	274	202	222	231	243	209	157	147	129	68	2084	157 \$
REQ-103	31	43	92	100	72	93	93	76	58	54	47	25	784	59 \$
moyenne:	50	73	119	132	128	131	140	128	97	90	81	45	1215	94 \$

Note : les valeurs marquées en rouge sont des estimations pour combler des mois où le chauffe-eau solaire n'était pas en fonction

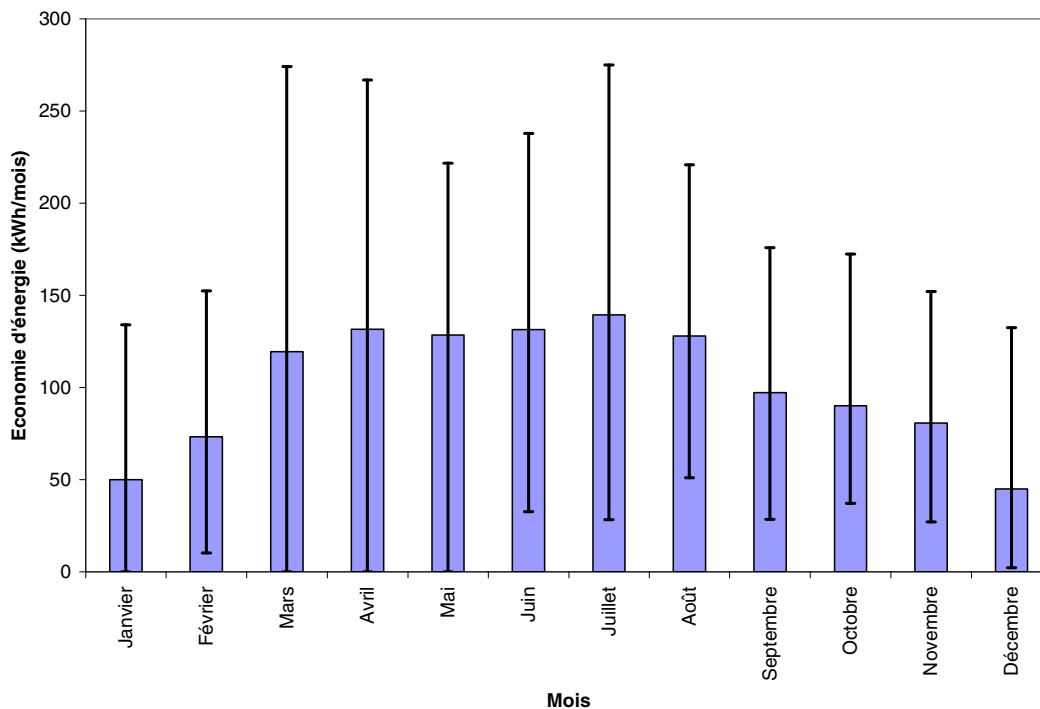


Figure 2.11 : Économie d'énergie mensuelle (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)

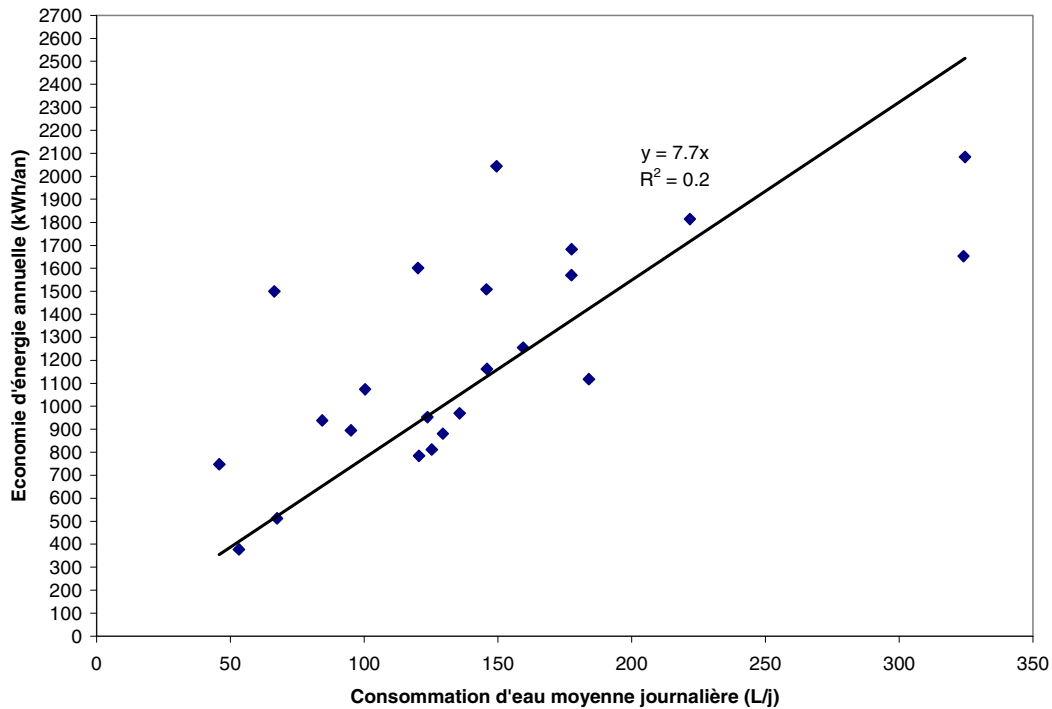


Figure 2.12 : Relation entre les économies d'énergie annuelles et la consommation d'eau moyenne journalière

Tenant compte du coût des énergies au Québec, l'économie monétaire moyenne pour le groupe est de 94 \$ annuellement avec un écart-type de 38 \$. Évidemment, les économies monétaires tendent à augmenter avec la consommation d'eau.

Calculé à partir des tableaux 2.7 et 2.8, le tableau 2.9 donne pour chaque client la couverture solaire des installations. La couverture solaire (appelée aussi taux d'économie d'énergie) η est le pourcentage des besoins en énergie E_{avant} qui est couvert par l'installation solaire.

$$\eta = \frac{\text{économie}}{E_{avant}} \quad (2)$$

La couverture solaire des installations varie significativement entre les clients, se situant entre 21 et 68 % sur une base annuelle selon le client. À titre comparatif, la littérature annonce souvent des économies se situant entre 35 % et 70 % [3, 14-19]. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet se situent donc dans l'ordre de grandeur de ce qui est généralement véhiculé dans la littérature. Les clients ayant une faible consommation d'eau chaude ont, d'une façon générale, une couverture solaire plus élevée puisque les besoins énergétiques en eau chaude sont plus

facilement comblés par les apports solaires. Toutefois, les économies en valeur absolue sont généralement moindres pour ces clients, comme discuté auparavant. Il y a une diminution significative de la couverture solaire au fur et à mesure que l'on passe des mois d'été vers les mois d'hiver. Pendant l'été, elle est supérieure à 60 % en moyenne pour le groupe, tandis qu'elle est inférieure à 20 % en décembre et janvier (figure 2.13). En moyenne pour le groupe de client, les chauffe-eau solaires ont permis de sauver 40 % des besoins énergétiques annuels.

Tableau 2.9 : Couverture solaire associée aux installations solaires

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
REQ-027	24%	46%	85%	82%	82%	92%	94%	93%	89%	63%	45%	23%	60%
REQ-051	18%	29%	41%	50%	44%	58%	66%	64%	41%	25%	18%	17%	38%
REQ-045	31%	52%	75%	85%	78%	95%	99%	100%	93%	67%	56%	38%	68%
REQ-023	4%	7%	22%	36%	38%	43%	41%	38%	33%	29%	27%	6%	27%
REQ-043	0%	13%	23%	24%	25%	39%	61%	53%	47%	39%	35%	6%	25%
REQ-031	12%	17%	33%	54%	54%	60%	55%	60%	47%	32%	23%	3%	37%
REQ-049	47%	56%	66%	68%	70%	88%	95%	92%	78%	61%	52%	35%	67%
REQ-046	15%	32%	52%	60%	55%	65%	72%	74%	55%	45%	41%	19%	48%
REQ-025	8%	20%	31%	35%	36%	42%	53%	43%	34%	26%	23%	7%	28%
REQ-026	25%	51%	45%	60%	61%	73%	90%	75%	55%	35%	38%	19%	49%
REQ-036	19%	27%	32%	26%	24%	30%	36%	33%	21%	21%	21%	7%	24%
REQ-040	16%	22%	44%	44%	46%	60%	69%	66%	53%	42%	35%	19%	42%
REQ-052	30%	32%	20%	39%	46%	48%	61%	52%	26%	24%	27%	27%	36%
REQ-024	9%	15%	30%	41%	45%	52%	67%	59%	45%	35%	28%	13%	34%
REQ-042	14%	23%	39%	48%	49%	62%	79%	58%	40%	32%	25%	14%	38%
REQ-048	23%	50%	82%	87%	90%	96%	98%	95%	72%	74%	67%	33%	65%
REQ-004	17%	10%	23%	42%	69%	80%	74%	75%	64%	38%	28%	1%	42%
REQ-002	13%	20%	29%	35%	37%	44%	49%	52%	36%	26%	16%	11%	29%
REQ-041	9%	68%	0%	0%	0%	31%	52%	62%	50%	37%	27%	9%	25%
REQ-044	30%	45%	57%	61%	60%	75%	94%	83%	64%	54%	46%	30%	55%
REQ-054	14%	17%	38%	51%	53%	68%	77%	74%	50%	28%	29%	9%	39%
REQ-096	14%	21%	37%	32%	35%	45%	65%	50%	37%	29%	24%	12%	32%
REQ-103	9%	14%	26%	24%	19%	35%	46%	32%	24%	18%	15%	7%	21%
moyenne:	17%	30%	40%	47%	49%	60%	69%	65%	50%	38%	32%	16%	40%

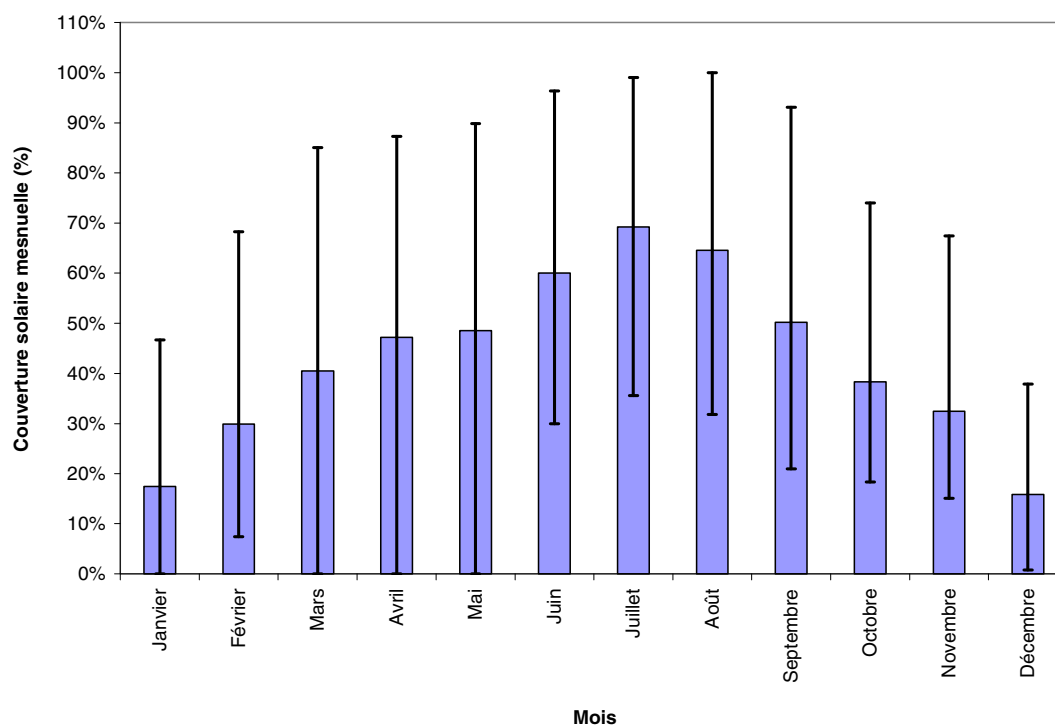


Figure 2.13 : Couverture solaire mensuelle (valeur moyenne, maximale et minimale des 23 clients)

Conclusion

Le Bureau de l'Efficacité et de l'Innovation Énergétique (BEIE) du Québec a mis en place en juin 2009 un projet pilote visant à favoriser l'implantation des chauffe-eau solaires au Québec. Environ 70 clients résidentiels ont adhéré à ce projet. Dans le cadre de ce projet, le Laboratoire des technologies de l'énergie d'Hydro-Québec (LTE) a été mandaté par le BEIE pour instrumenter, mesurer et analyser la performance de plusieurs installations solaires afin, ultimement, de quantifier les économies d'énergie *in-situ* des chauffe-eau solaires opérés dans un contexte québécois. Au total, 23 clients ont été recrutés par le BEIE pour participer à la campagne de mesurage du LTE. Cette campagne de mesurage a officiellement débuté le 1^{er} août 2010 pour la majorité des clients et elle s'est terminée le 1^{er} août 2011, soit un an plus tard.

Les constats suivants se dégagent de cette campagne de mesurage :

- les mois d'été ont significativement été plus ensoleillés que les mois d'hiver pendant la campagne de mesurage. Ainsi, le rayonnement solaire journalier incident mesuré sur les panneaux solaires a été en moyenne de 5.2 kWh/m²/j en juillet mais de seulement 1.6 kWh/m²/j en décembre. Globalement, sur la base des données de Montréal, la période de mesurage a été moins ensoleillée (-10.5 %) qu'une année moyenne. La température extérieure moyenne fut cependant la même que celle d'une année moyenne ;
- pour l'ensemble de la période d'analyse, la consommation d'eau chaude journalière moyenne de tous les ménages a été de 143 litres par jours. Il s'agit d'une consommation d'eau en deçà de la valeur moyenne d'environ 186 l/j des ménages québécois ;
- le nombre d'heures mensuel de fonctionnement des systèmes solaires s'abaisse significativement en passant des mois de l'été vers l'hiver. Ainsi, en juillet, les systèmes solaires ont fonctionné en moyenne pendant 6.7 heures par jour, comparativement à 1.2 heure par jour en décembre. Ceci est cohérent avec la réduction du rayonnement solaire ;
- en accord avec la variation saisonnière du rayonnement solaire, la température de stockage dans les réservoirs tampons varie selon la période de l'année, étant supérieure à 50 °C en été en moyenne pour le groupe, et inférieure à 20 °C en décembre et janvier. Par

ailleurs, bien qu'occasionnel, la température de stockage dans le réservoir tampon peut être supérieure à 70 °C ;

- la couverture solaire des installations, ou taux d'économie, varie significativement entre les clients, se situant entre 21 et 68 % sur une base annuelle selon le client. A titre comparatif, la littérature annonce souvent des économies se situant entre 35 et 70 %. Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet se situent donc dans l'ordre de grandeur de ce qui est généralement véhiculé dans la littérature. Les clients ayant une faible consommation d'eau chaude ont, d'une façon générale, une couverture solaire plus élevée puisque les besoins énergétiques en eau chaude sont plus facilement comblés par les apports solaires. Il y a une diminution significative de la couverture solaire au fur et à mesure que l'on passe des mois d'été vers les mois d'hiver. Pendant l'été, elle est supérieure à 60 % en moyenne pour le groupe, tandis qu'elle est inférieure à 20 % en décembre et janvier. En moyenne pour le groupe de client, les chauffe-eau solaires ont permis de sauver 40 % des besoins énergétiques annuels.

La plage des économies énergétiques annuelles des 23 installations est vaste, se chiffrant entre 378 et 2084 kWh/an. La moyenne annuelle pour le groupe est de 1215 kWh, ce qui se traduit en économie moyenne annuelle de 94 \$ pour le groupe. Comme anticipé, les économies sont plus importantes pendant les mois d'été. De fait, en moyenne, les économies mensuelles entre avril et août sont presque 3 fois supérieures à celles des mois de décembre et janvier. Au global, c'est 76 % des économies annuelles qui se réalisent pendant la période estivale comprise entre avril et novembre (inclusivement).

Les chauffe-eau solaires sont des technologies matures qui sont le fruit de plusieurs années d'étude et de travaux internationaux visant à accentuer l'efficacité de ces systèmes. Des défauts de fabrication et d'installation peuvent certes survenir mais, au global, la technologie est maîtrisée et la performance optimisée. Ainsi, sous des conditions d'essais spécifiques, plusieurs panneaux solaires plats actuels peuvent convertir en chaleur jusqu'à 80% de l'énergie solaire reçue pendant l'été ; ce rendement se chiffre cependant souvent en deçà de 40% en hiver étant donnée la plus grande déperdition thermique des panneaux par temps froid ; les panneaux avec tubes sous vides sont pour leur part en mesure d'offrir un rendement supérieur à 50% en hiver.

Sans améliorer davantage les panneaux solaires, il y a quelques recommandations simples à mettre en œuvre pour accroître les économies d'énergie associées aux chauffe-eau solaires :

- réduire au minimum les pertes de chaleur à travers les tuyaux du fluide caloporteur en réduisant la distance entre les panneaux et le réservoir tampon et en les isolant soigneusement ;
- réduire au minimum les pertes de chaleur à travers les tuyaux qui relient le réservoir tampon et le chauffe-eau domestique en minimisant la distance et en les isolant adéquatement ;
- ne pas surdimensionner le volume des réservoirs tampons afin de réduire les pertes thermiques et accroître la performance globale ;
- doter le client d'une interface conviviale pour l'informer de la bonne marche de son système. De cette façon, le client pourrait intervenir en cas de mauvais fonctionnement et ainsi éviter de « perdre » des économies d'énergie. Si une telle interface existe, prendre le temps d'éduquer le client sur son utilisation et son interprétation.

L'application de ces recommandations permettra d'accroître de quelques points de pourcentage les économies d'énergie des chauffe-eau solaires. Cela ne résoudra cependant pas le défi majeur auxquels font face les chauffe-eau solaires, soit le problème de leur rentabilité. En effet, avec des économies annuelles de l'ordre de 100\$, la période de retour sur l'investissement des chauffe-eau solaire demeure extrêmement élevée. Avec un coût installé se situant entre 8,000 et 10,000\$⁴, la période de retour sur l'investissement est supérieure à 75 ans, ce qui est conforme aux résultats de Bédard [19]. Les efforts d'innovation touchant les systèmes solaires ne doivent donc pas s'attarder prioritairement à l'amélioration de la performance, mais plutôt à la réduction des coûts d'achat et d'installation. Dans cet ordre, les questions de base suivantes doivent se poser :

- Compte tenu que la plus grande partie des économies d'énergie se fait en été, soit en dehors des périodes hors-gel, serait-il plus souhaitable d'installer des systèmes 3 saisons, moins chers, qui n'ont pas besoin d'être protégé du gel ?
- L'utilisation en boucle fermé de l'eau comme fluide caloporteur, couplé à de l'auto-vidange, est-il préférable au glycol, compte tenu que cela pourrait simplifier le système et le rendre moins onéreux ?
- Pour entre autres des questions de simplicité d'installation et de maintenance, est-il préférable d'installer les panneaux solaires en position verticale sur les murs, comme le suggère Bédard [19] ?

⁴ Information collectée lors de conversations téléphoniques.

- Le secteur résidentiel est-il le bon marché pour les systèmes solaires ? En effet, parce que l'eau chaude se consomme principalement en matinée et en soirée dans le secteur résidentiel, il est nécessaire de stocker la chaleur qui est produite pendant le jour avec les panneaux solaires. Ce surcoût pour ces systèmes de stockage pourrait être évité si la consommation d'eau chaude était concomitante avec la production solaire. Ceci est souvent le cas dans le secteur commercial (restaurant, bureau, procédé de fabrication, etc.).

Ces questions ouvrent la porte à plusieurs études.

Le projet a permis de générer une quantité formidable et une qualité unique de valeurs expérimentales sur les chauffe-eau solaires opérés en conditions réelles dans un contexte québécois. Le présent rapport a fait une analyse exhaustive de ces données. Cependant, beaucoup d'informations se cachent encore dans cette banque de données pour aider à mieux concevoir et opérer les chauffe-eau solaires au Québec. Entre autres, les données peuvent servir à valider des modèles de simulation des chauffe-eau solaires ou à faire, selon diverses techniques d'exploration de données, de l'ingénierie inverse pour optimiser les systèmes. Il serait donc très opportun de valoriser cette banque de données en la mettant à la disponibilité du milieu universitaire et des Centres de recherche pour supporter le développement durable de l'énergie solaire au Québec et ailleurs.

Références

- [1] Moreau, A., Analyse de la performance des chauffe-eau solaires installés au Québec dans le cadre du programme d'implantation de l'Agence de l'Efficacité Énergétique – rapport intérimaire, rapport soumis à l'Agence de l'Efficacité Énergétique par le LTE, février 2011.
- [2] Utilisation de l'électricité dans le marché résidentiel – 2006, Hydro-Québec Distribution, Octobre 2006.
- [3] Les chauffe-eau solaires – guide de l'acheteur, Ressources naturelles Canada.
- [4] Manuel RETScreen, manuel de l'utilisateur en ligne, Ressources naturelles Canada.
- [5] Duffie, J.A., and W. A. Beckman, 2006 – Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley.
- [6] Peuser, F.A., K. Remmers, M. Schnauss, 2005 – Installations solaires thermiques : conception et mise en œuvre. Paris, FR : Éditions du Moniteur.
- [7] http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-nrcan.gc.ca/fra/energies_renovelables/energie_solaire_thermique/cesd_repertoire.html
- [8] <https://www.simeb.ca/>
- [9] Poulin, A., Laperrière, A., Lallier-Daniels, D., Residential Hot Water Consumption Analysis, article du LTE pas encore publié.
- [10] ANSI/ASHRAE Standard 90.2-1993, Energy Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, Section 8.9.4, “Hourly Domestic Hot Water Fraction”, and Table 8-4, “Daily Domestic Hot Water Load Profile”, pp 53-54.
- [11] Becker, B.R. and Stogsdill, K.E. (1990), Development of Hot water Use Data Base, ASHRAE Transaction, vol. 96, Part2, pp 422-427.
- [12] http://www.ashrae-mtl.org/text/f_ashrae.html
- [13] Prévention de la légionellose et des brûlures en relation avec la température des chauffe-eau électriques domestique, Institut national de santé publique du Québec, février 2001
- [14] Buscarlet, C., Caccavelli, D., Suivi et évaluation énergétiques du Plan Soleil: chauffe-eau solaires individuels, rapport du CSTB, 2006
- [15] A Consumer's Guide – Heat Your Water with the Sun, National Renewable Energy Laboratory (NREL), U.S. Department of Energy, DOE/GO-102003-1824, décembre 2003.
- [16] Solar Energy in Canada – The Cost of Solar Water Heating Systems (Archive), Canadian Solar Industries Association (CanSIA), décembre 2009.
- [17] Solar Water Heating – In Depth Solar Water Heating System Information, Solar Ontario

[18] Benoît Drolet, L'énergie solaire au Québec, Régie de l'énergie, demande R-3671-2008, AEE-9, document 4, novembre 2007.

[19] Bédard, N., Leduc, M.-A., Bilan d'opération de systèmes solaires thermiques au LTE, Infobec, février 2011.

Annexe A : Points de mesure et schéma d'installation des chauffe-eau solaires

Schéma installation (REQ-002)

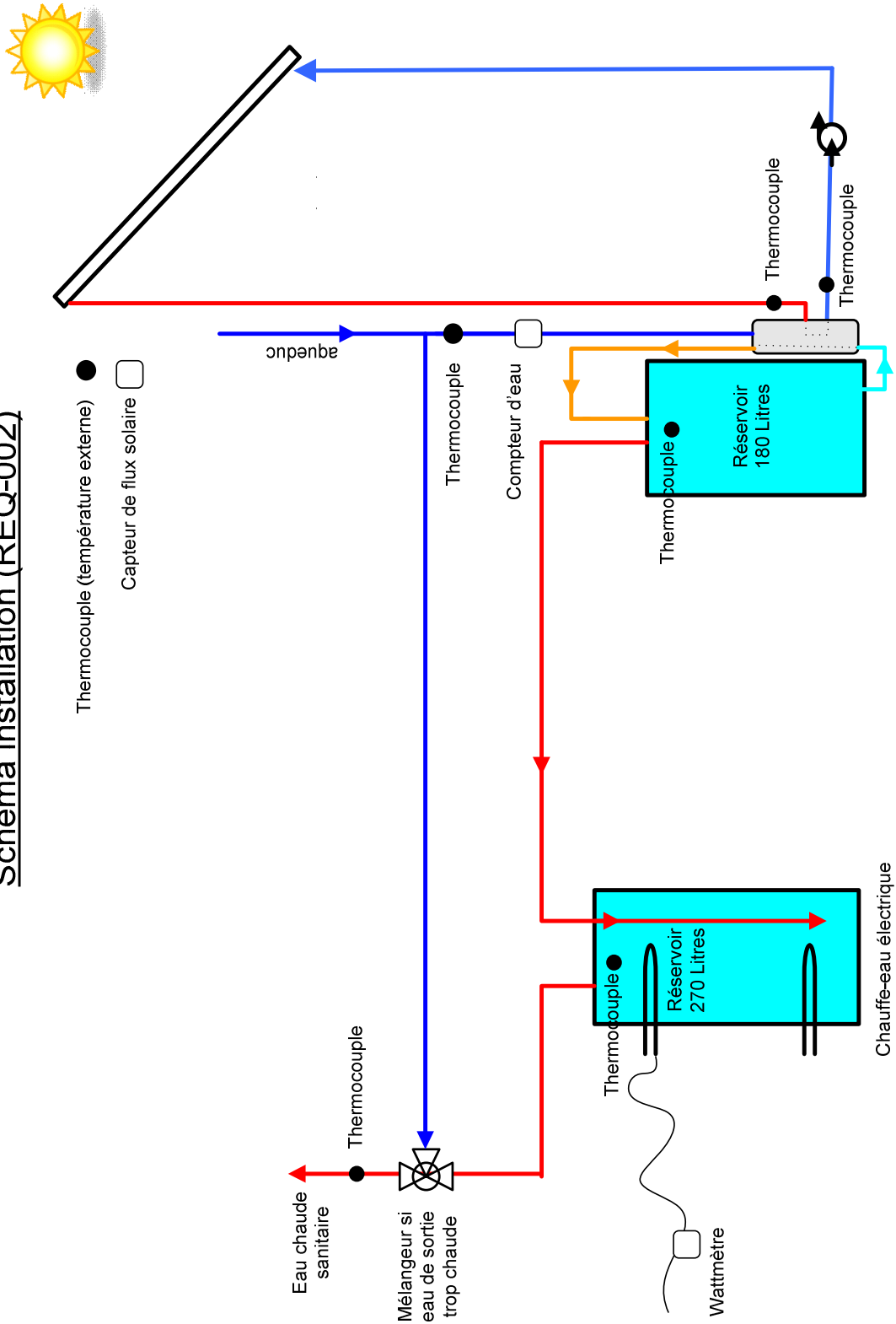


Schéma installation (REQ-004)

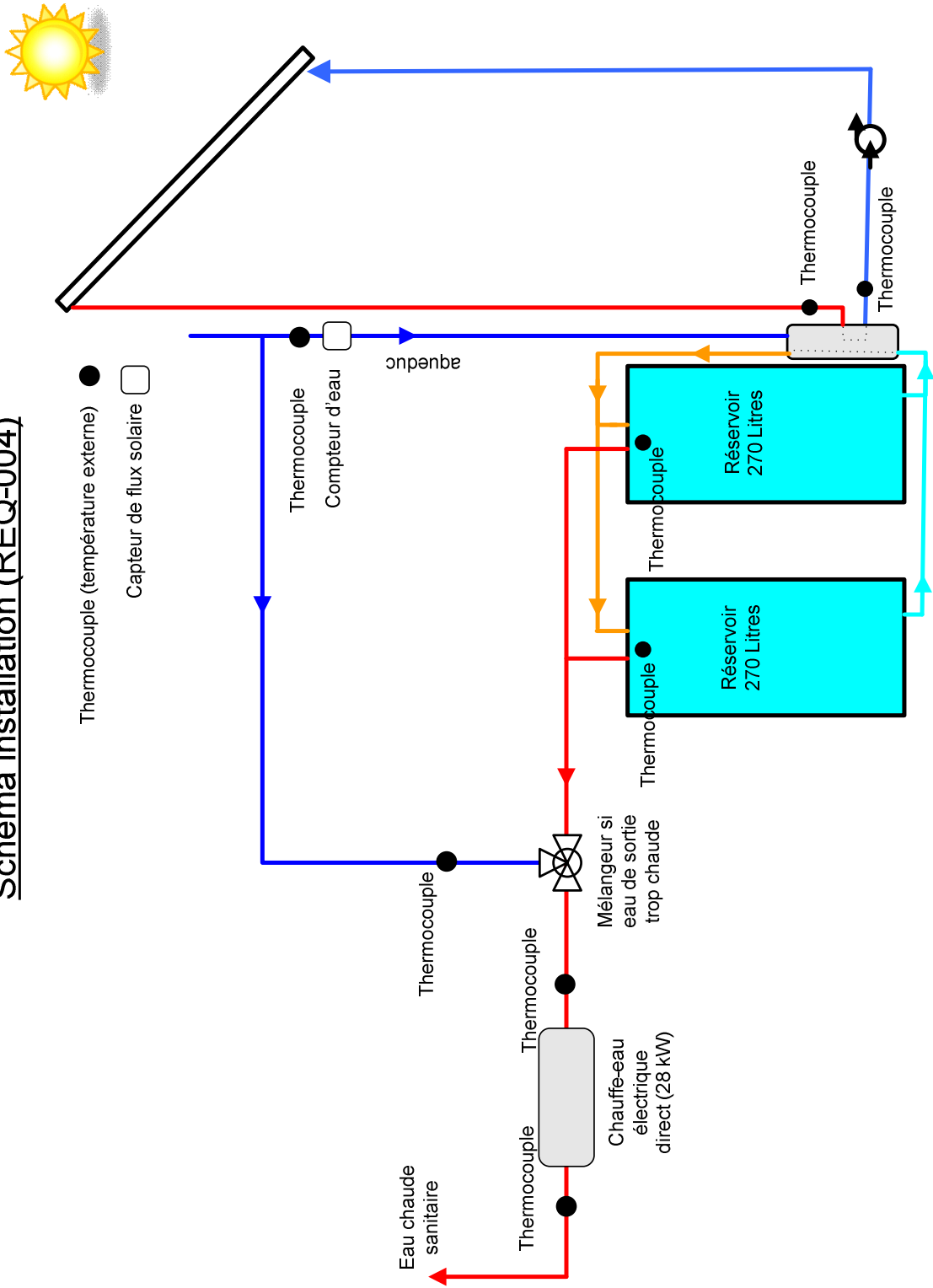


Schéma installation (REQ-023)

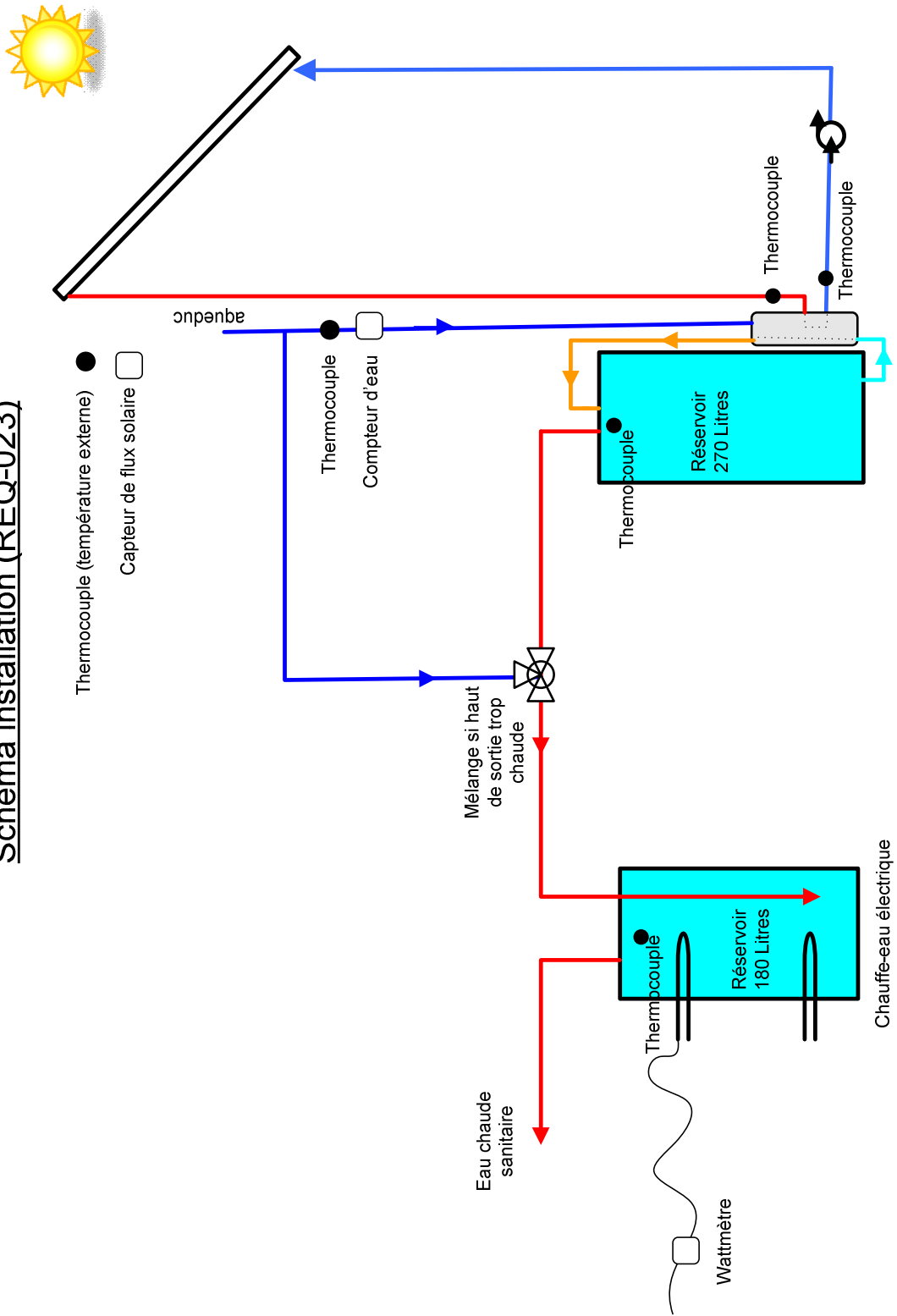


Schéma installation (REQ-031)

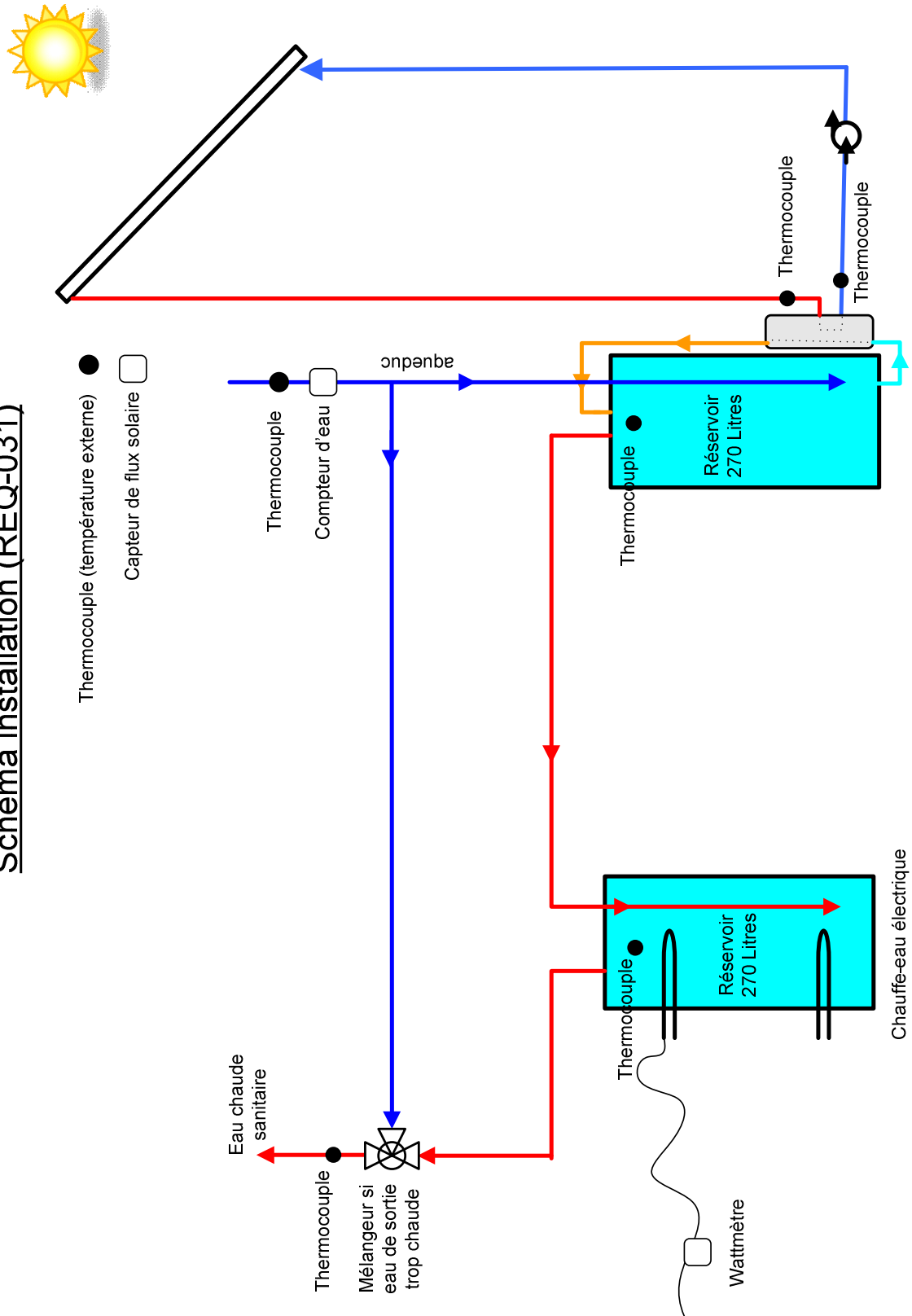


Schéma installation (REQ-027)

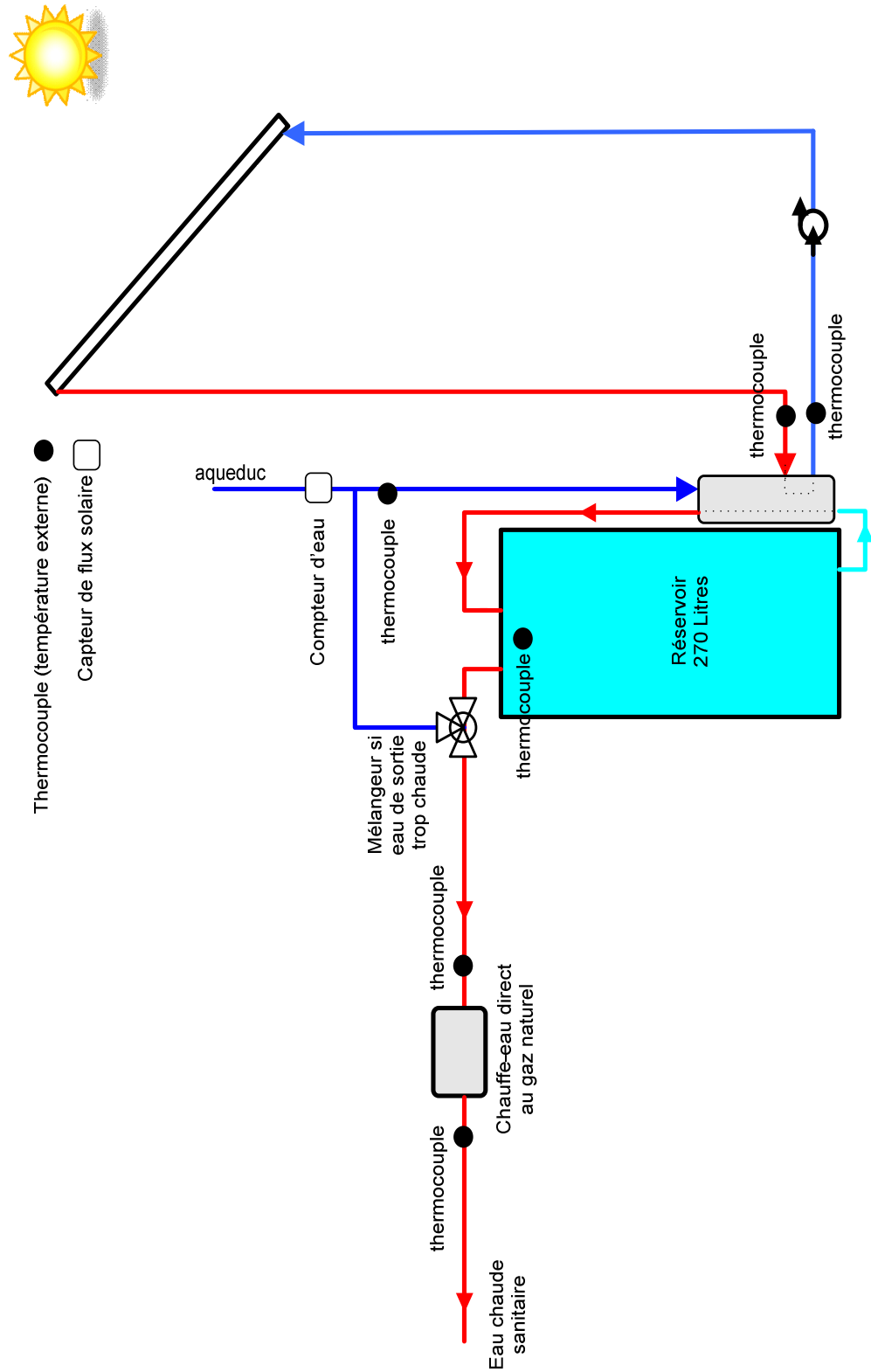


Schéma installation (REQ-025)

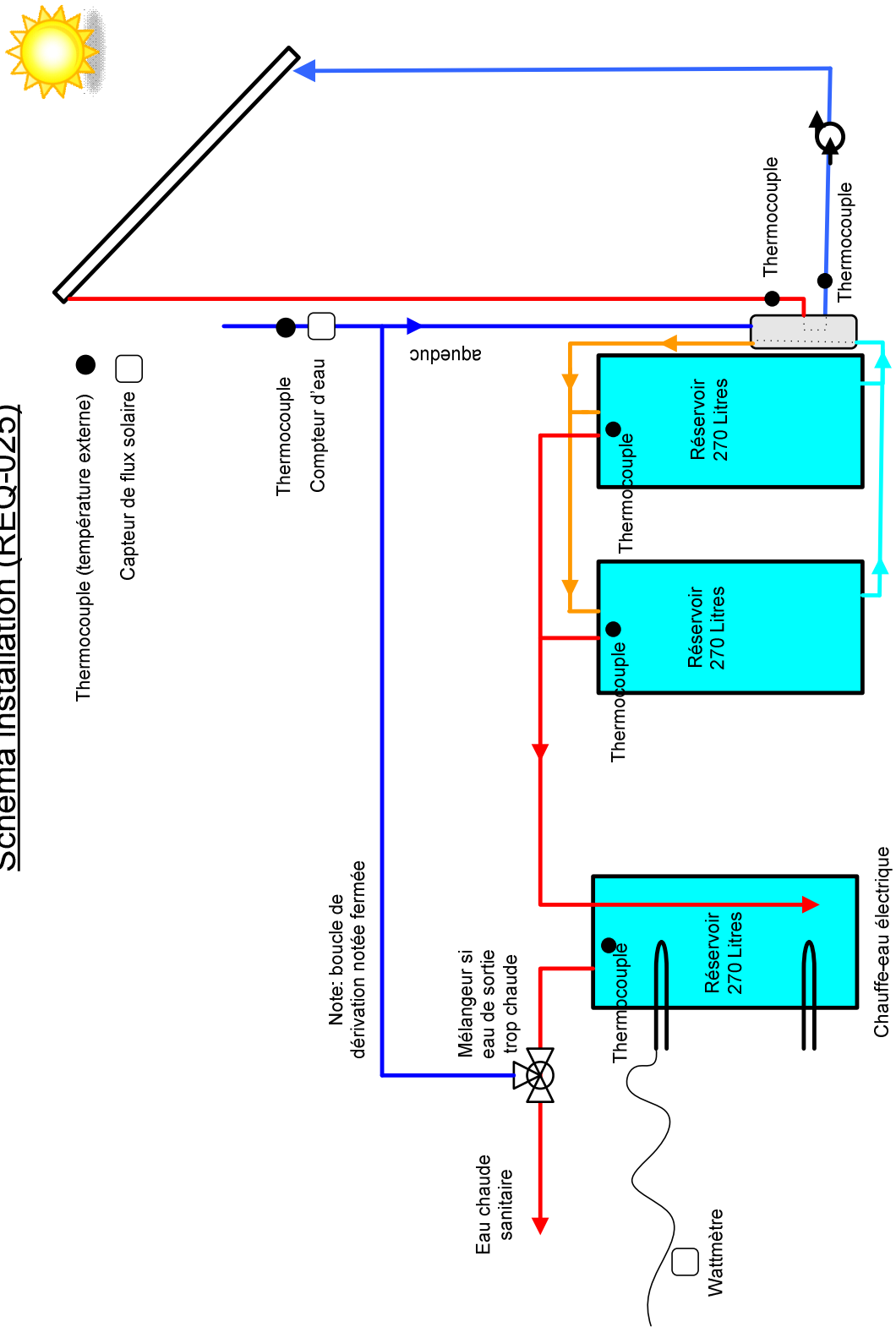


Schéma installation (REQ-024)

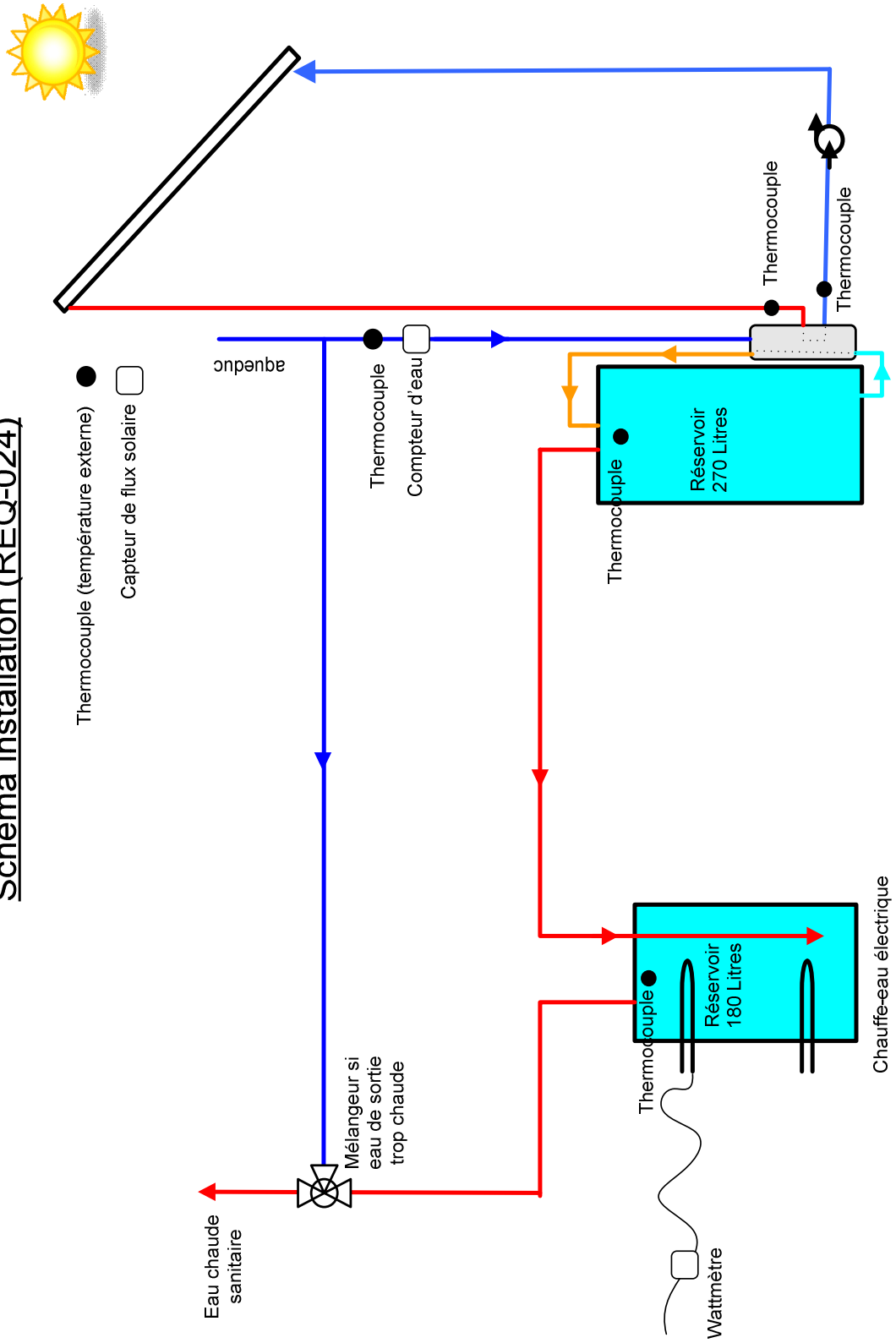


Schéma installation (REQ-026)

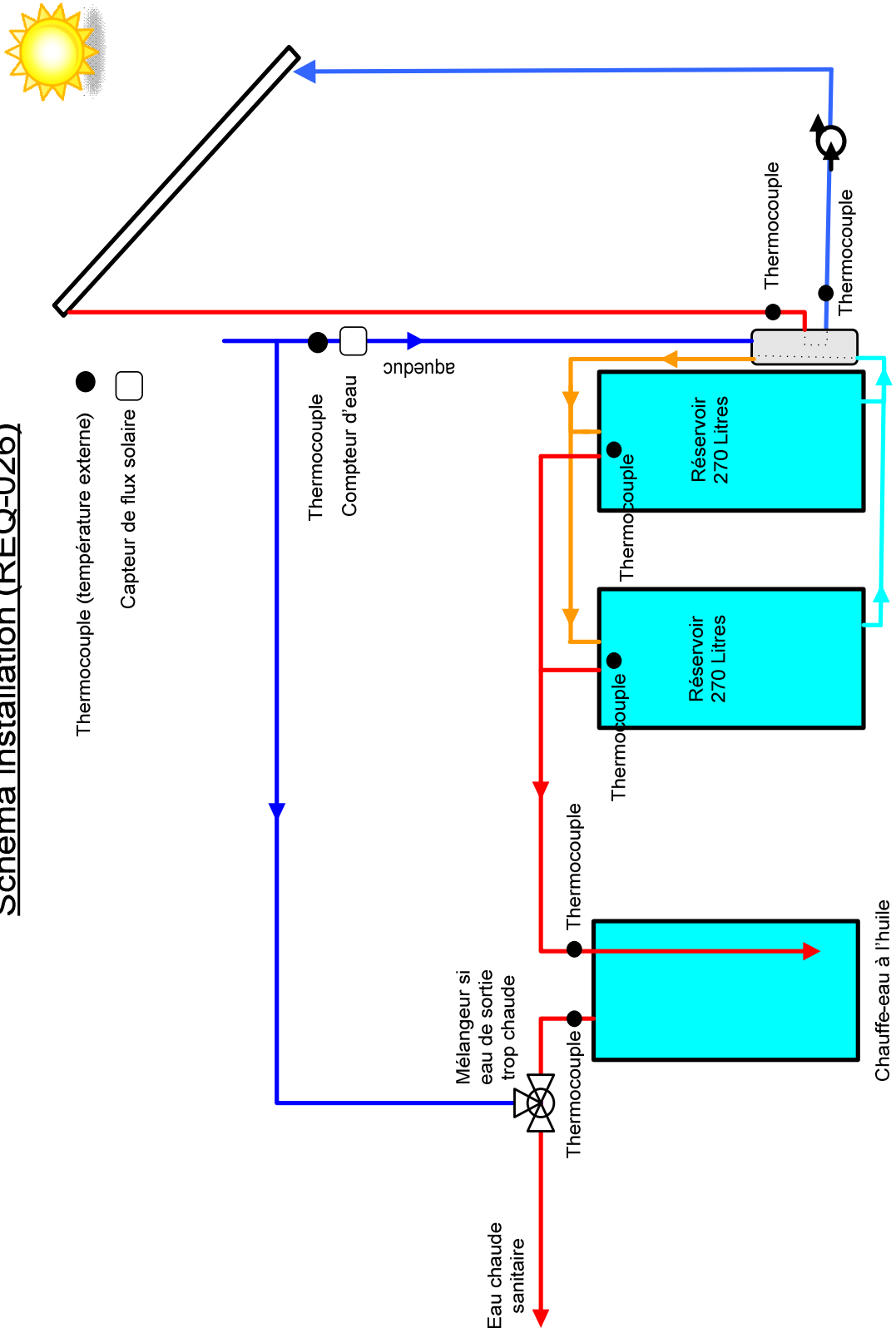


Schéma installation (REQ-036)

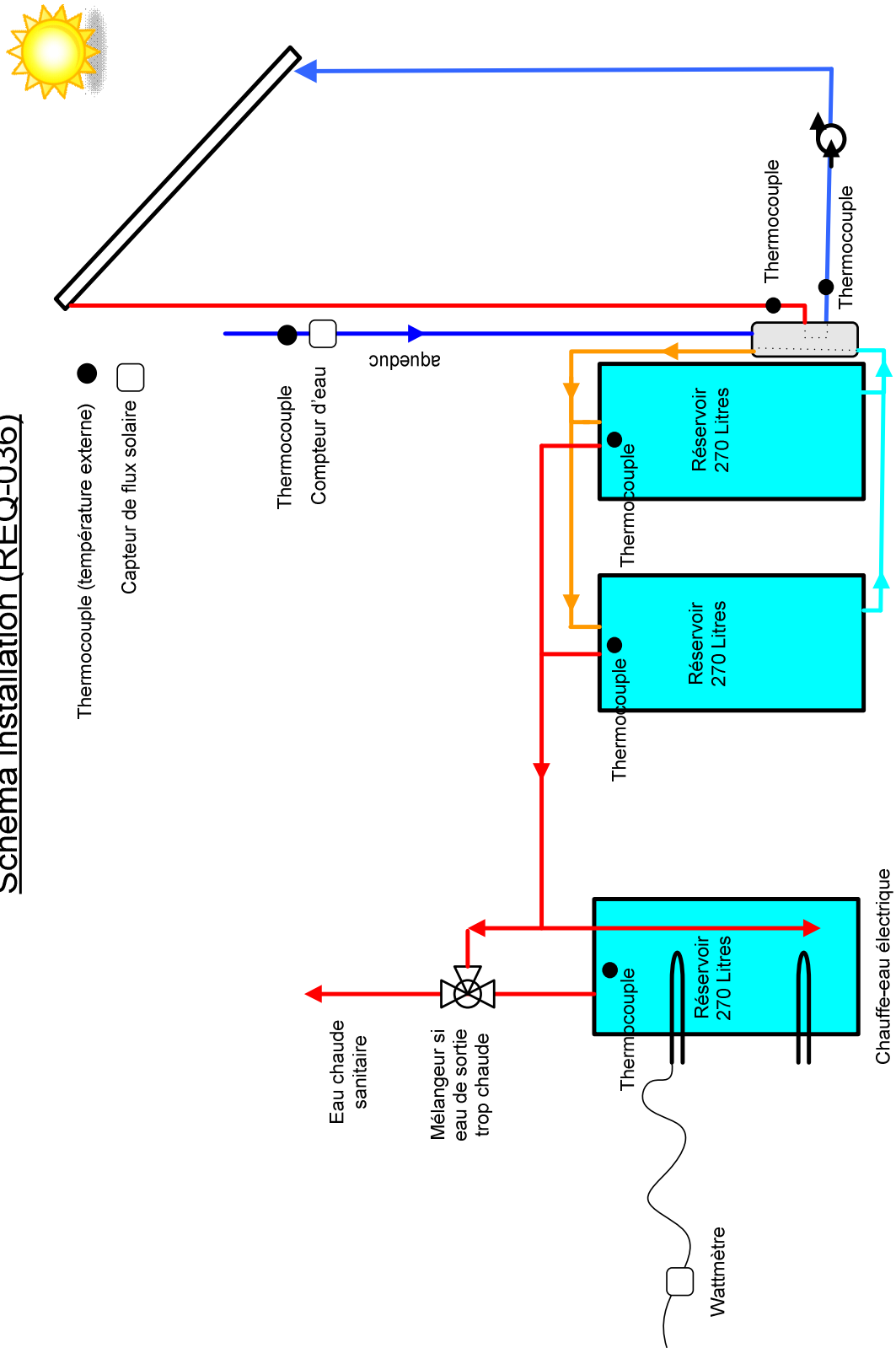
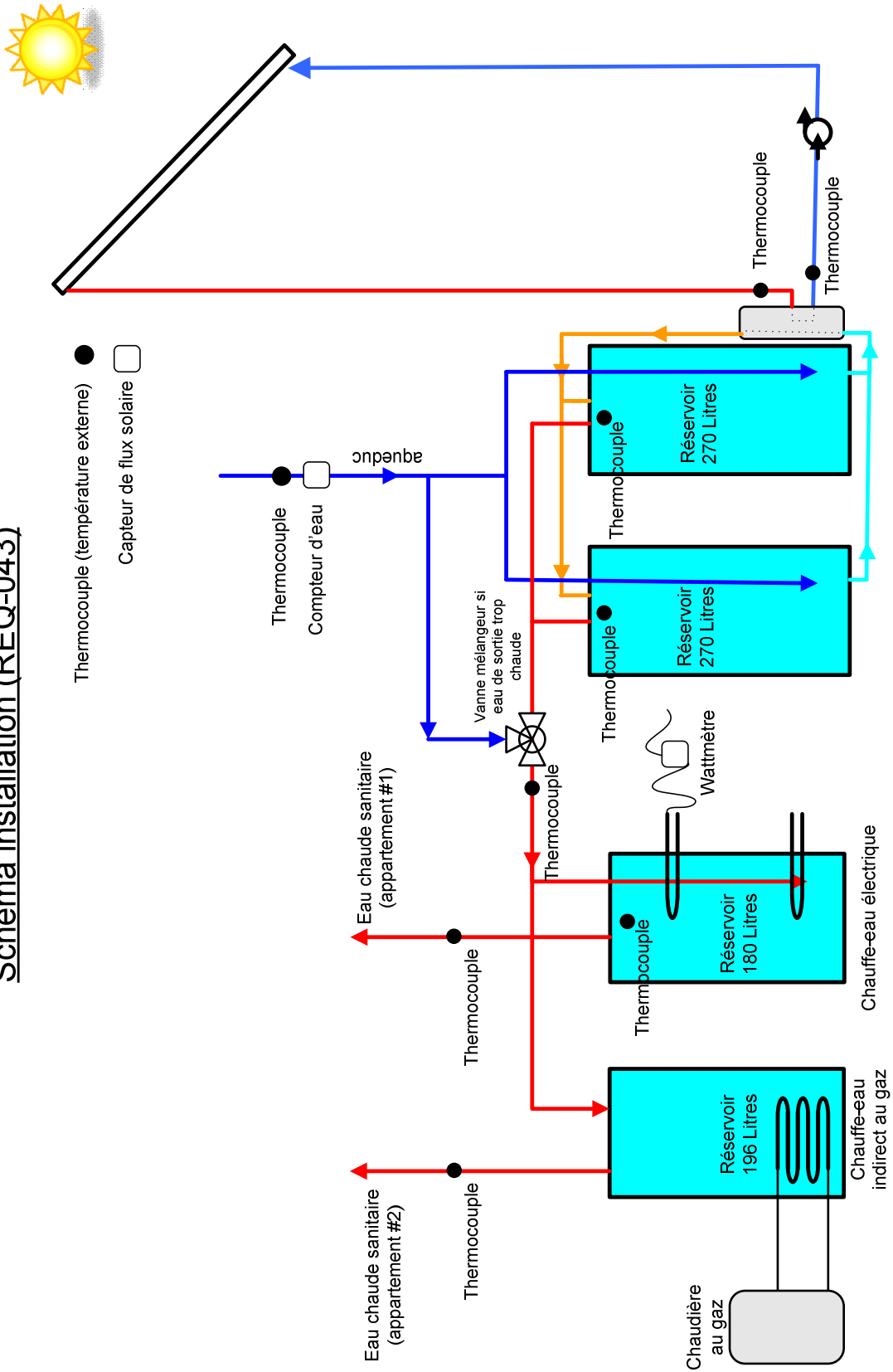


Schéma installation (REQ-043)



● Thermocouple (température externe)
 □ Capteur de flux solaire

Schéma installation (REQ-051)

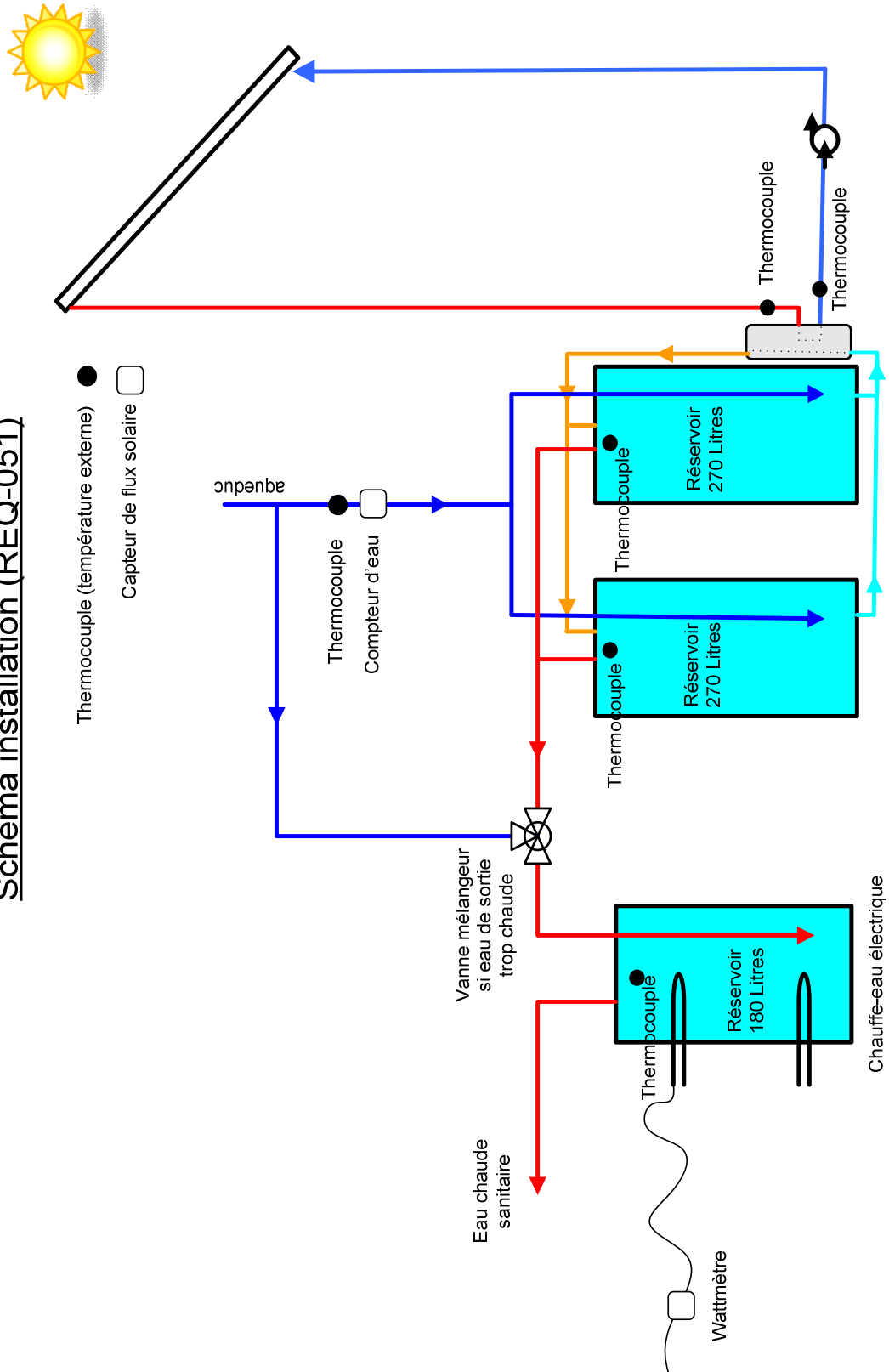


Schéma installation (REQ-046)

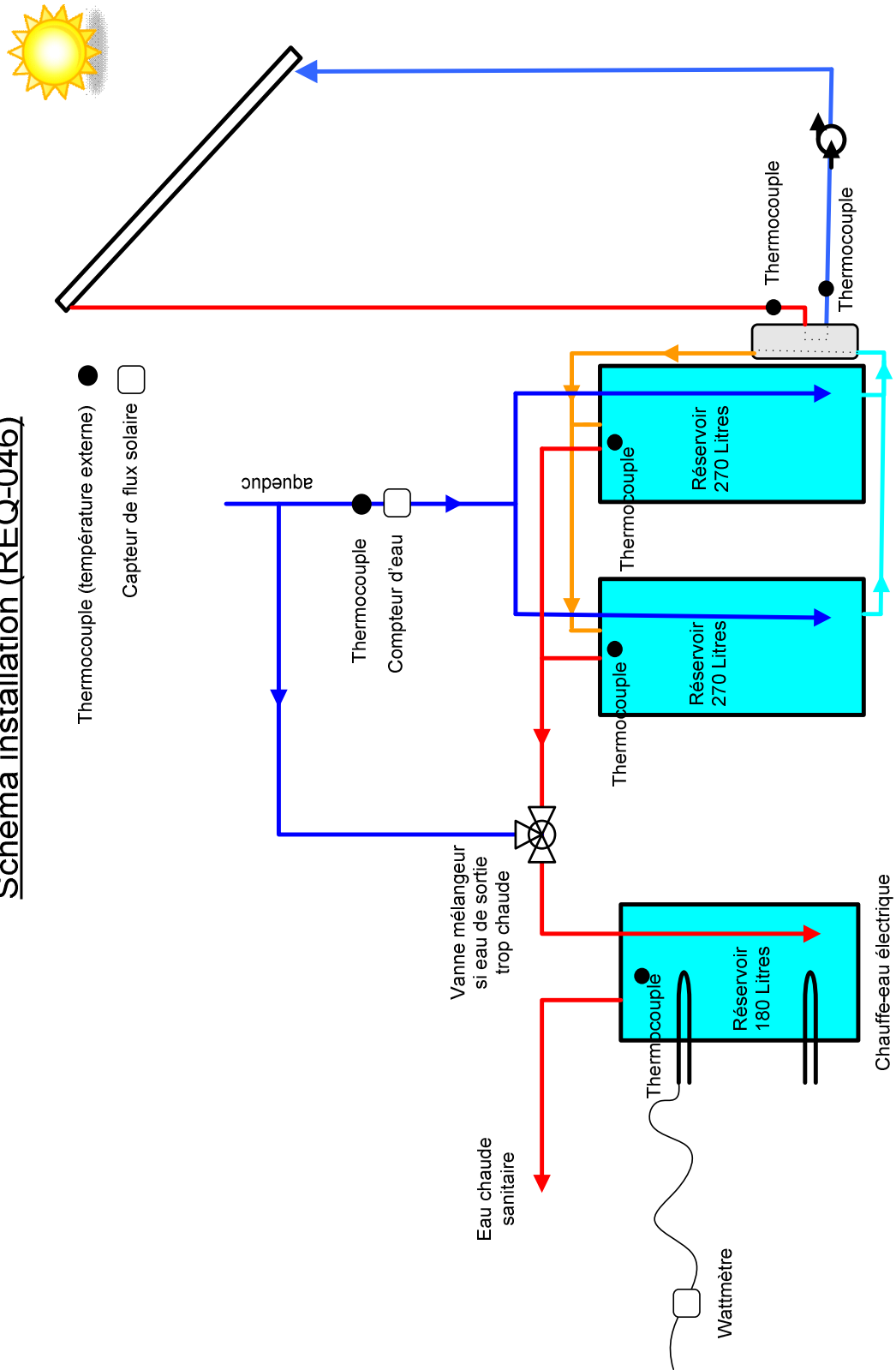


Schéma installation (REQ-040)

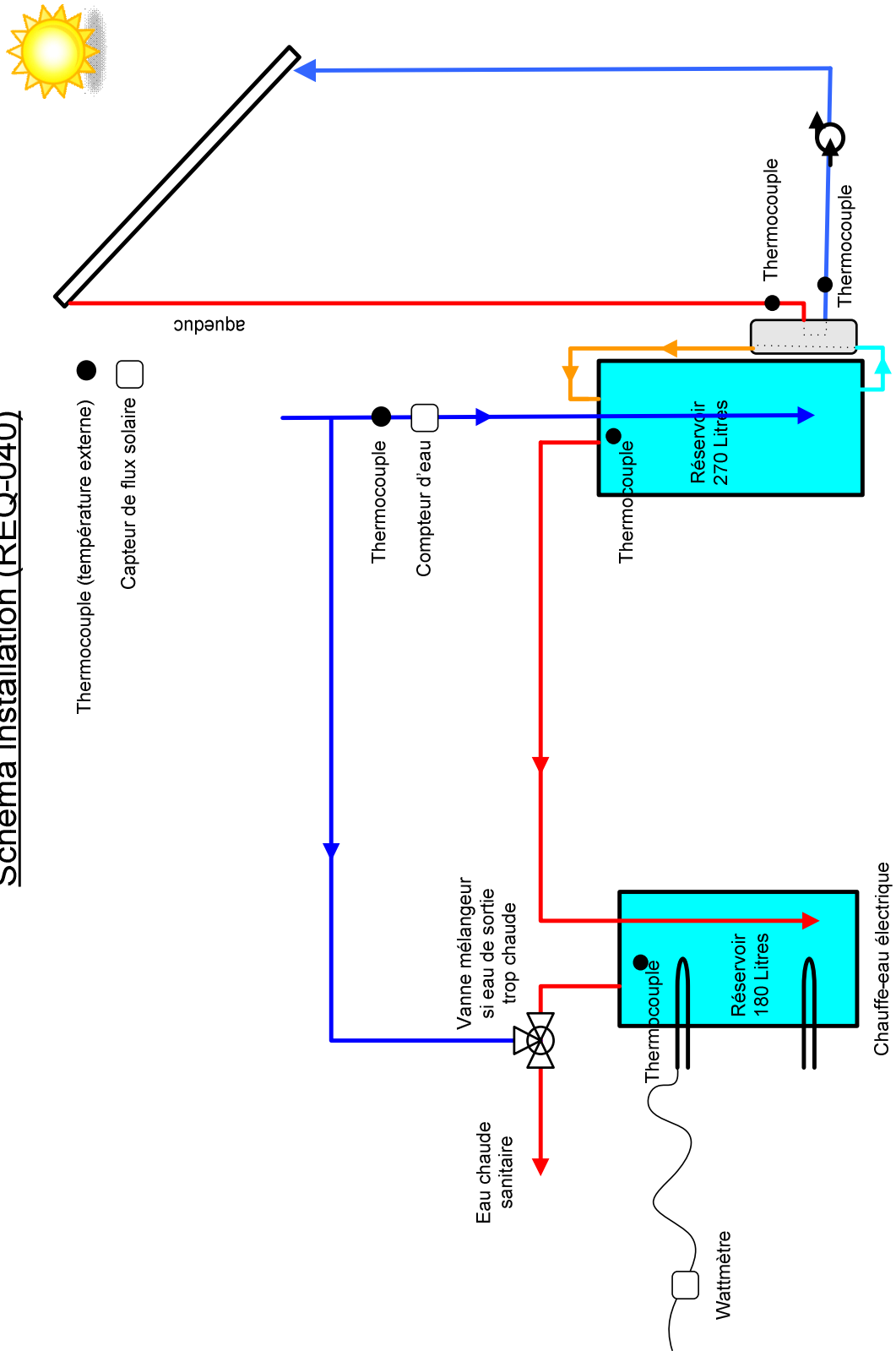


Schéma installation (REQ-042)

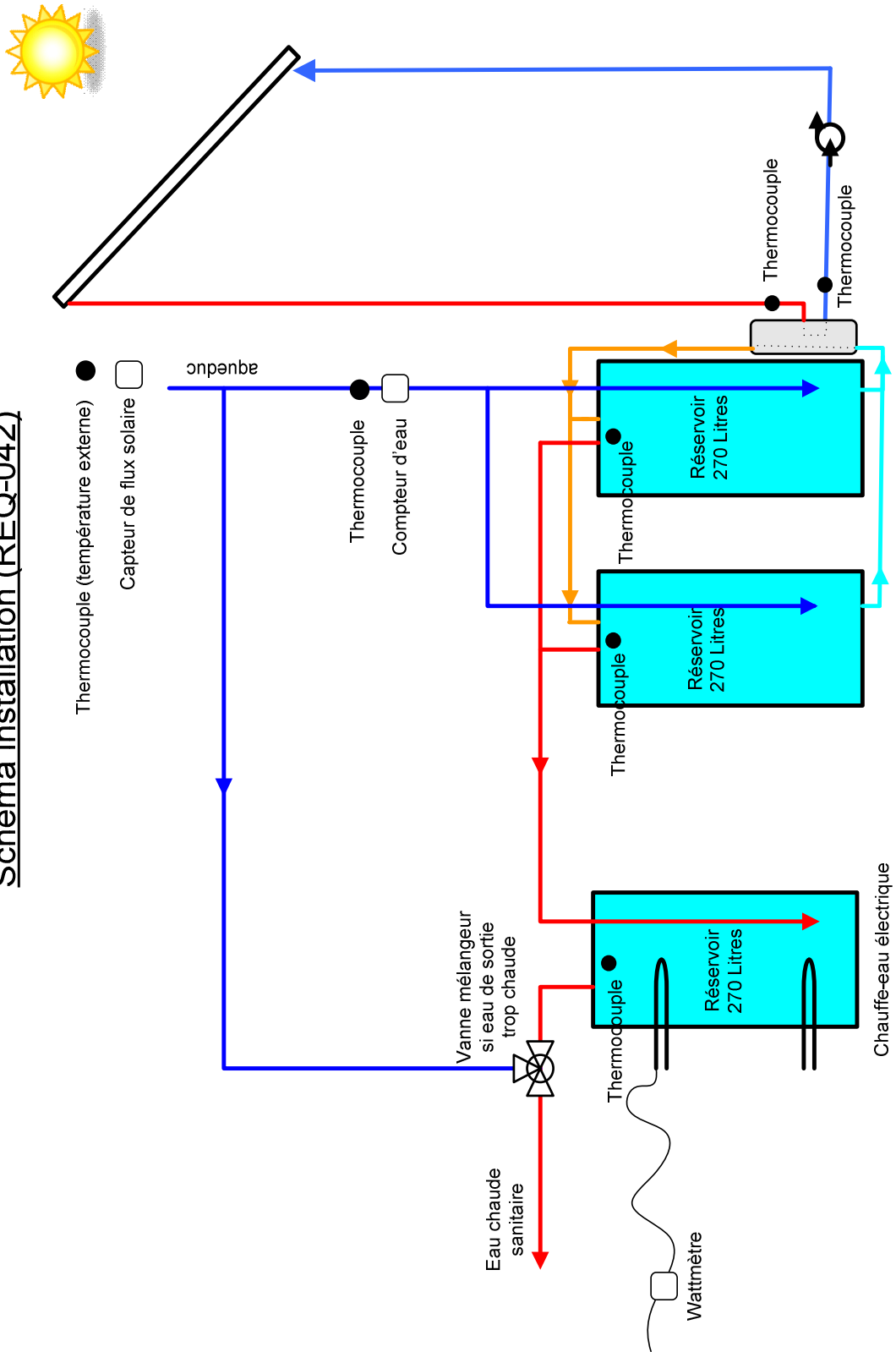


Schéma installation (REQ-044)

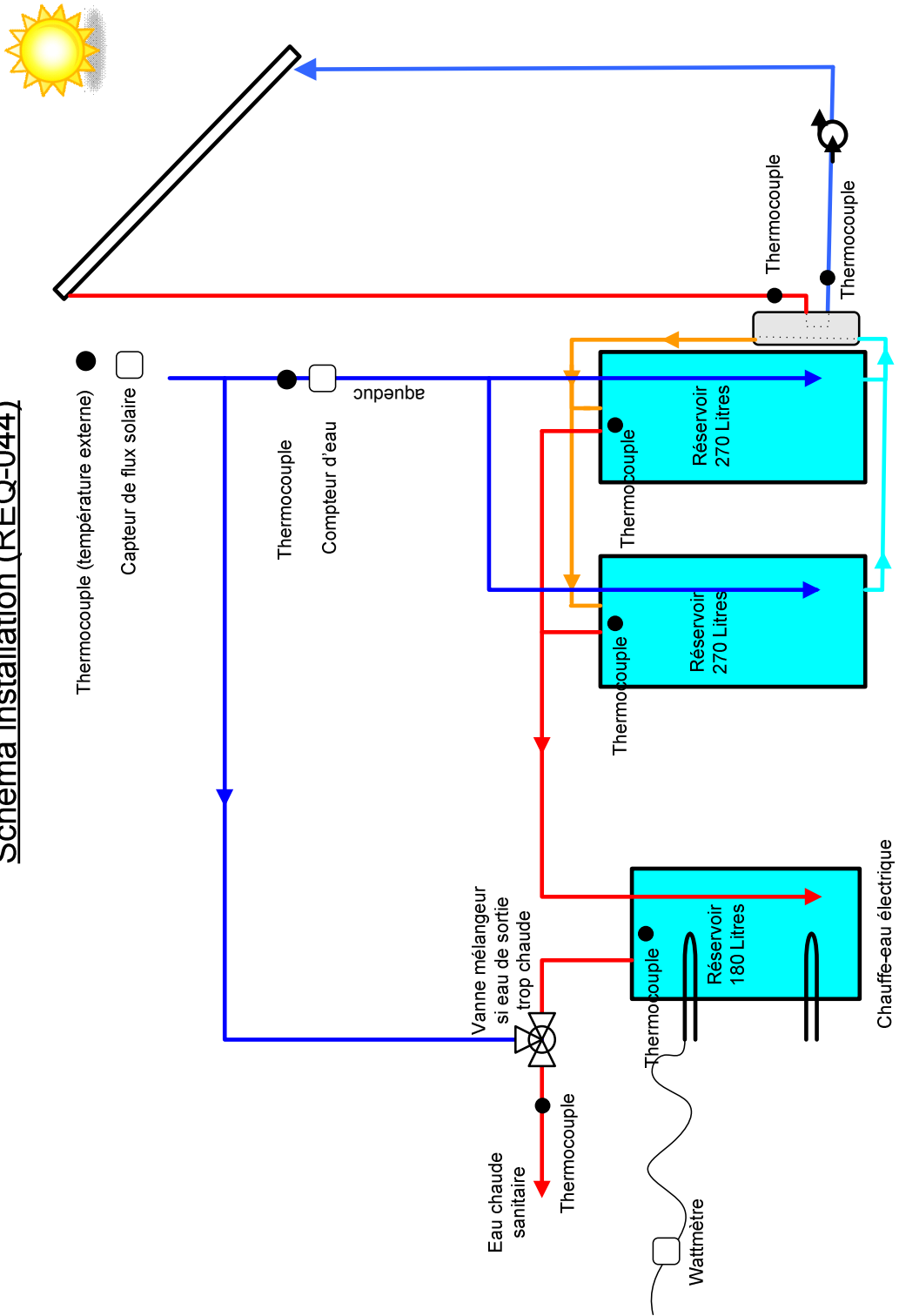


Schéma installation (REQ-041)

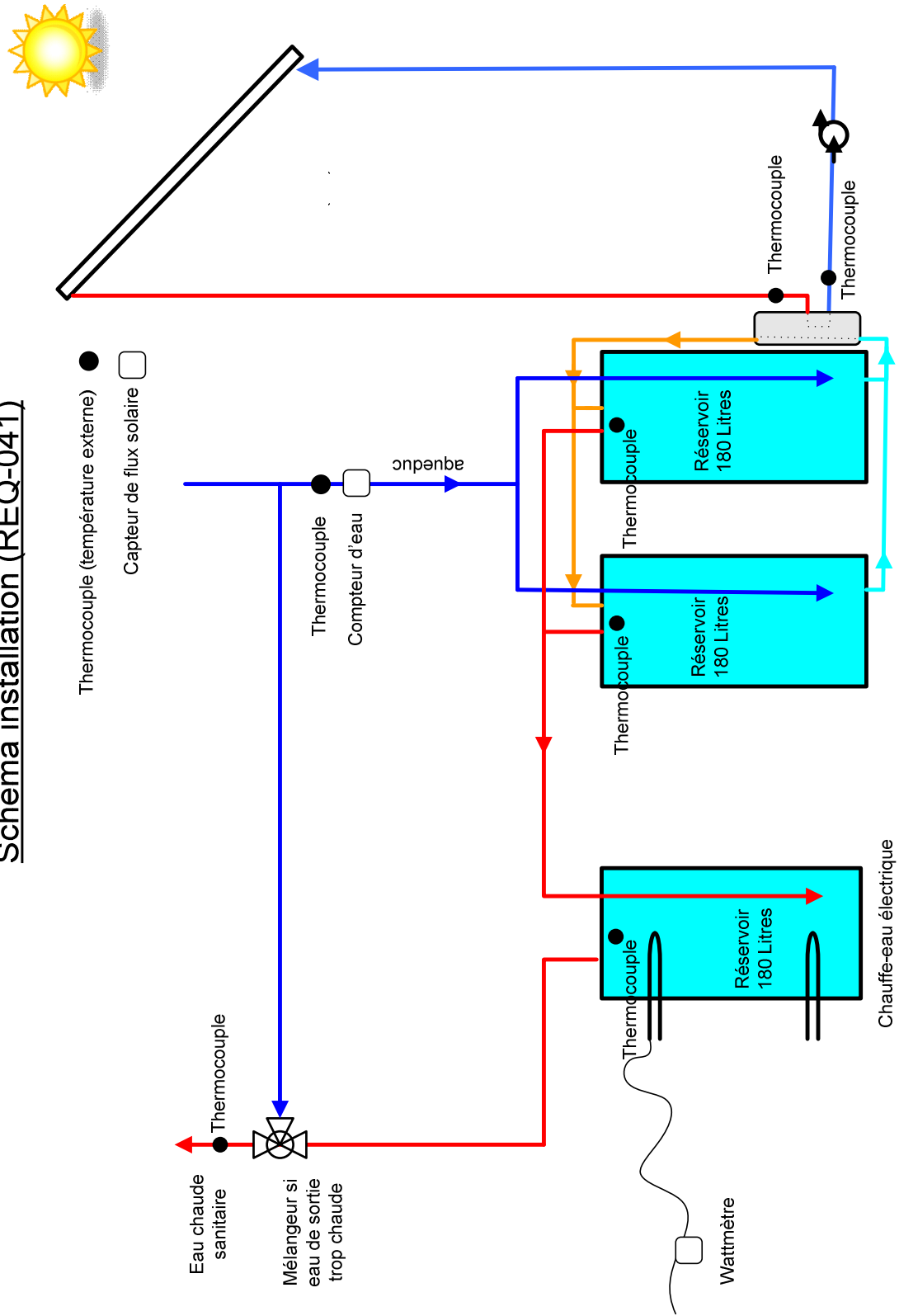


Schéma installation (REQ-048)

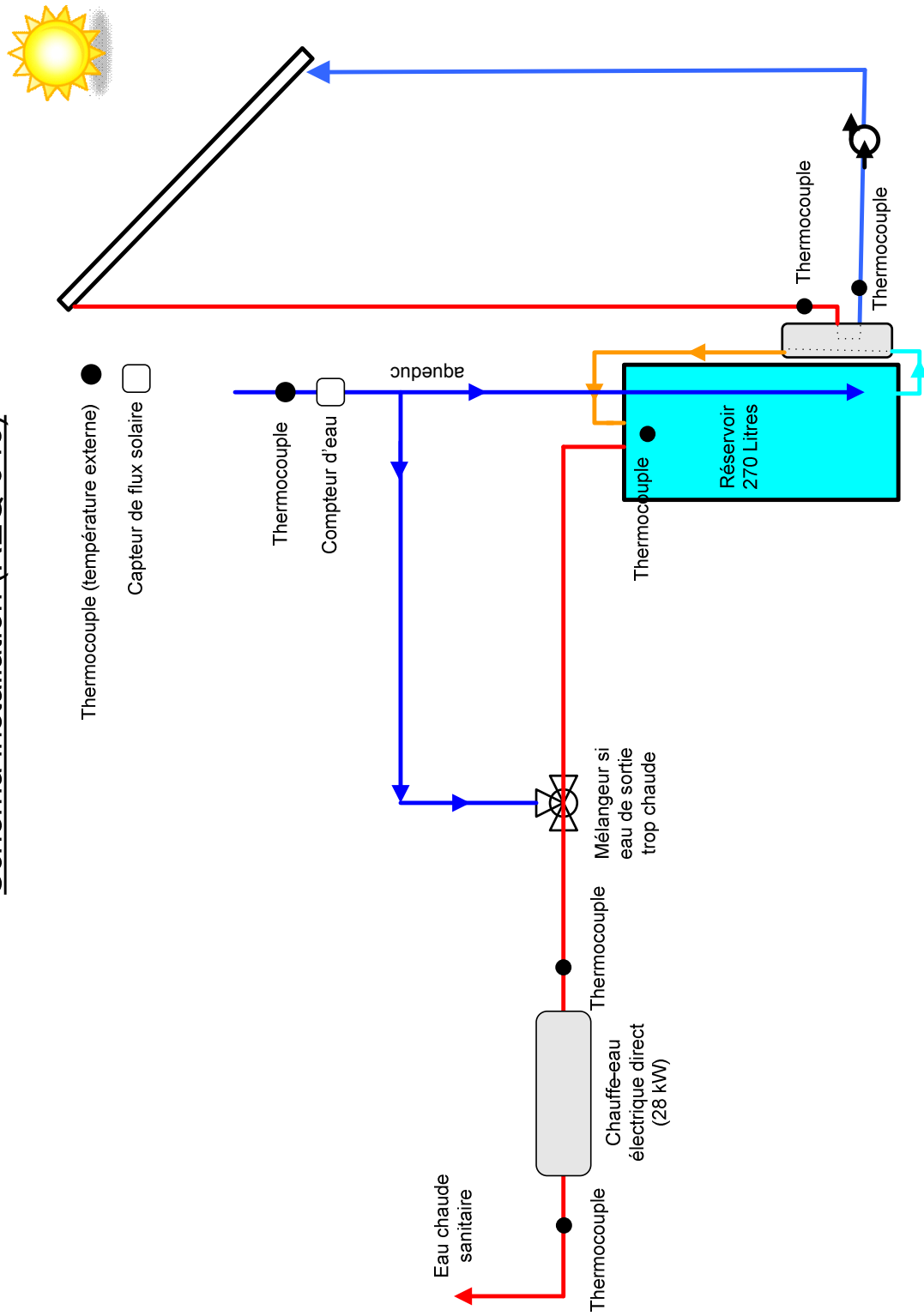


Schéma installation (REQ-052)

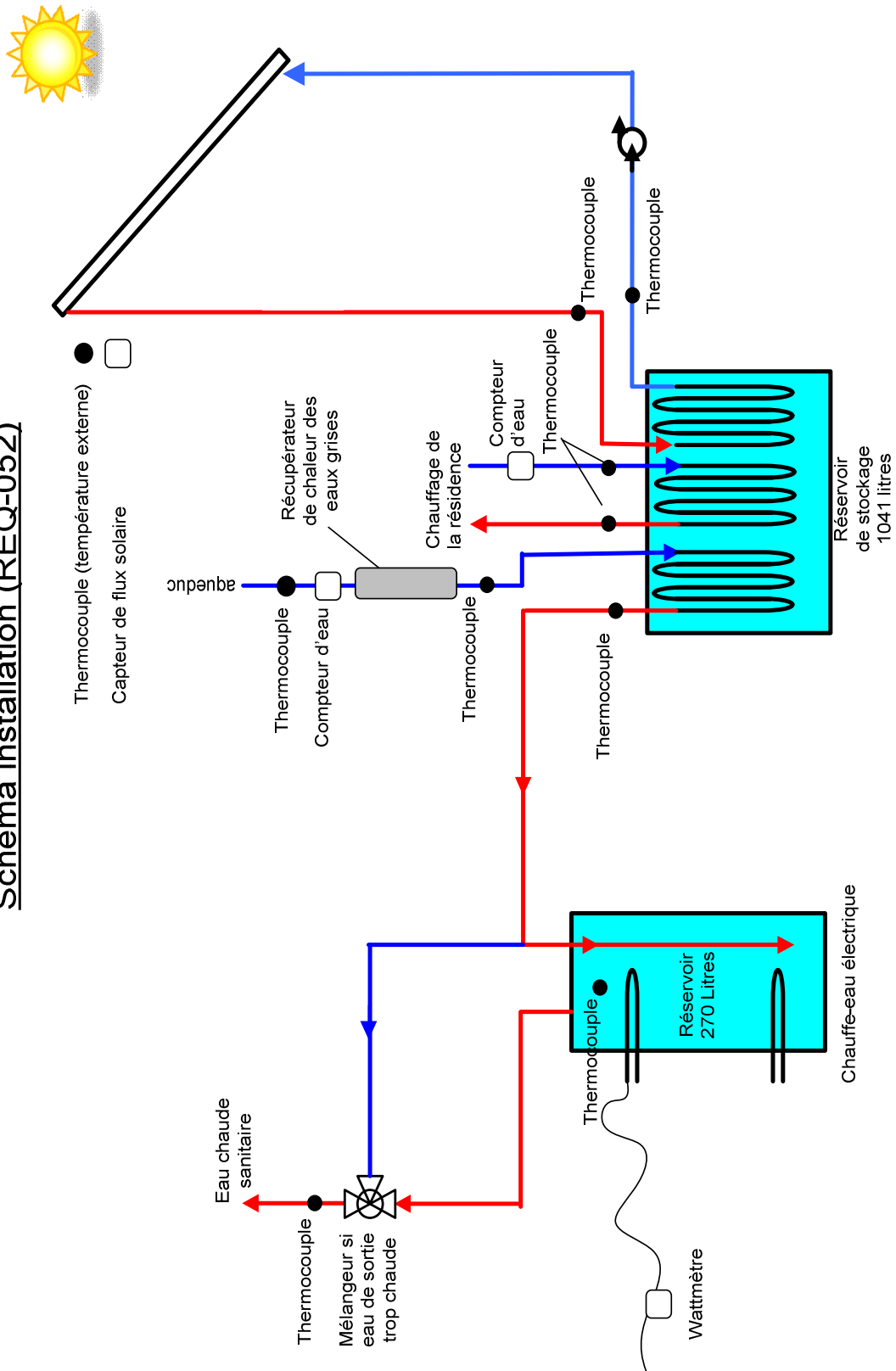


Schéma installation (REQ-049)

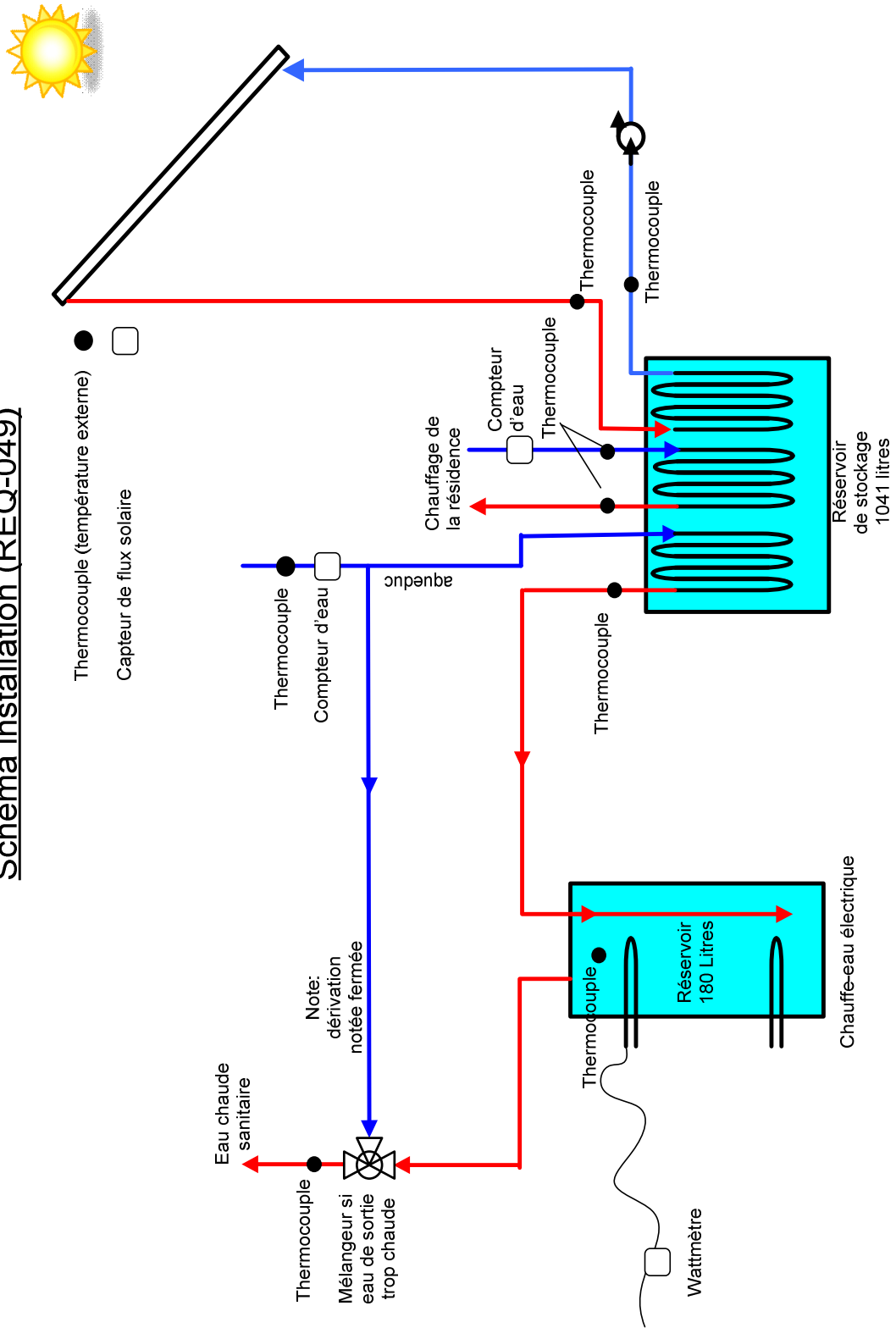


Schéma installation (REQ-054)

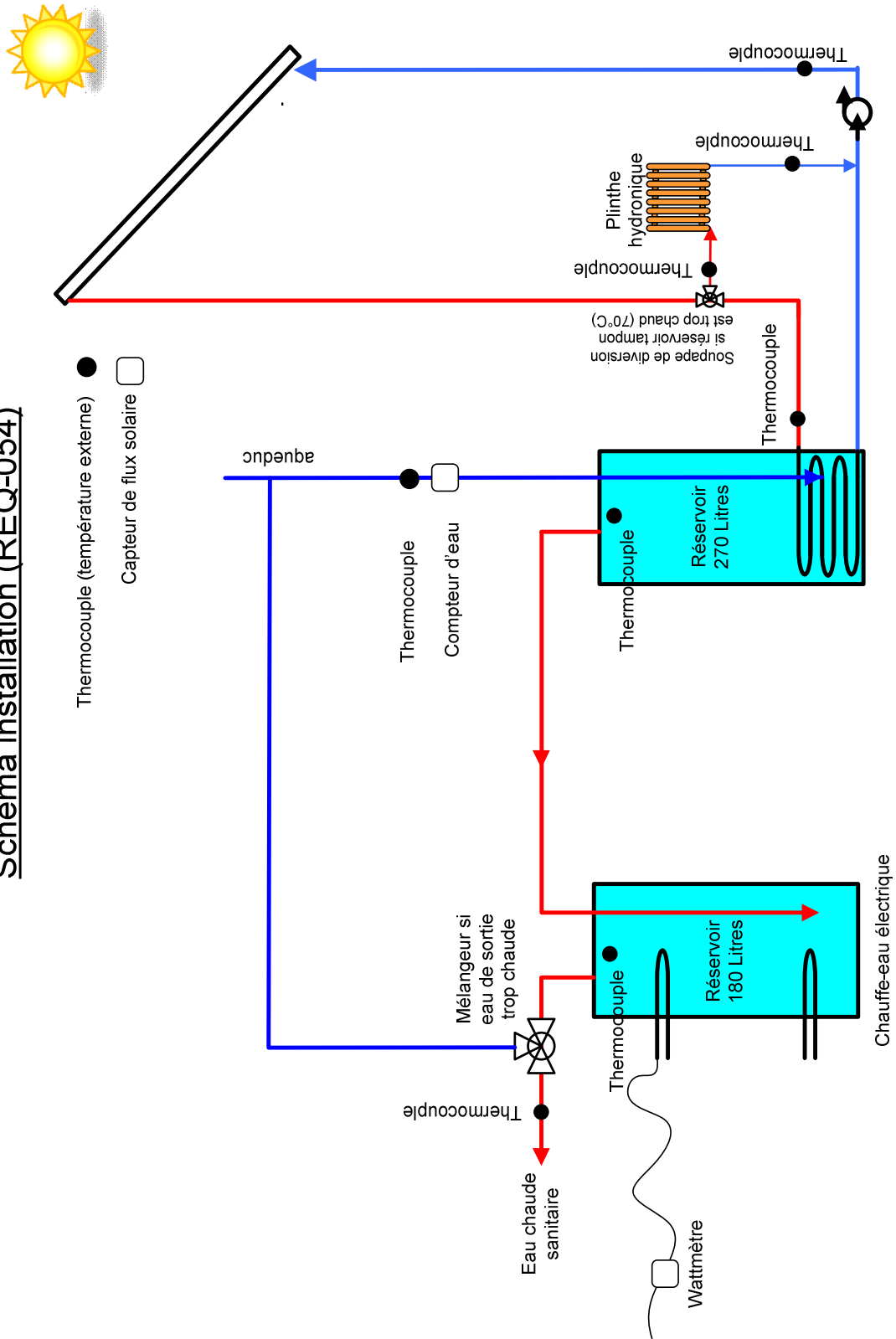


Schéma installation (REQ-096)

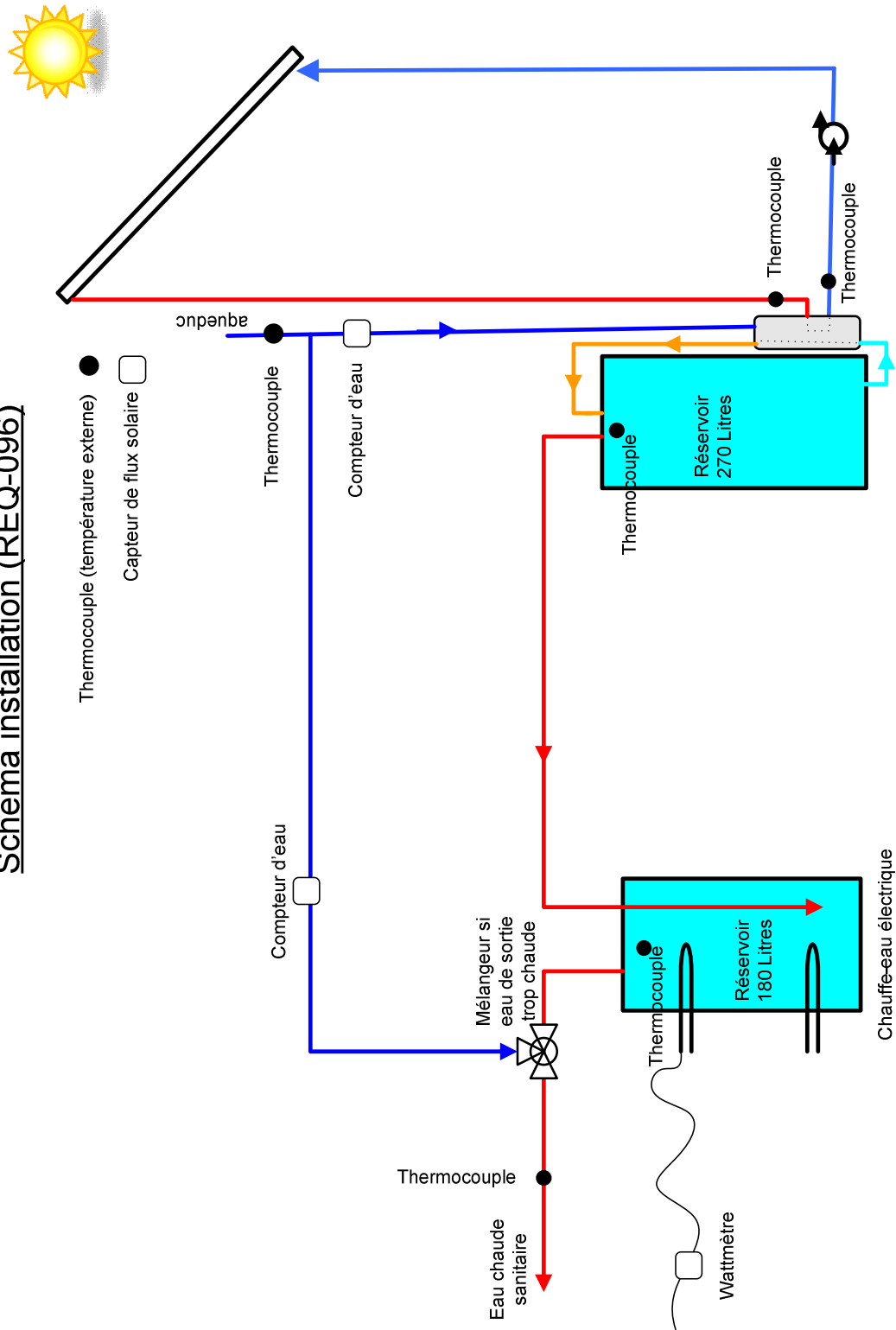
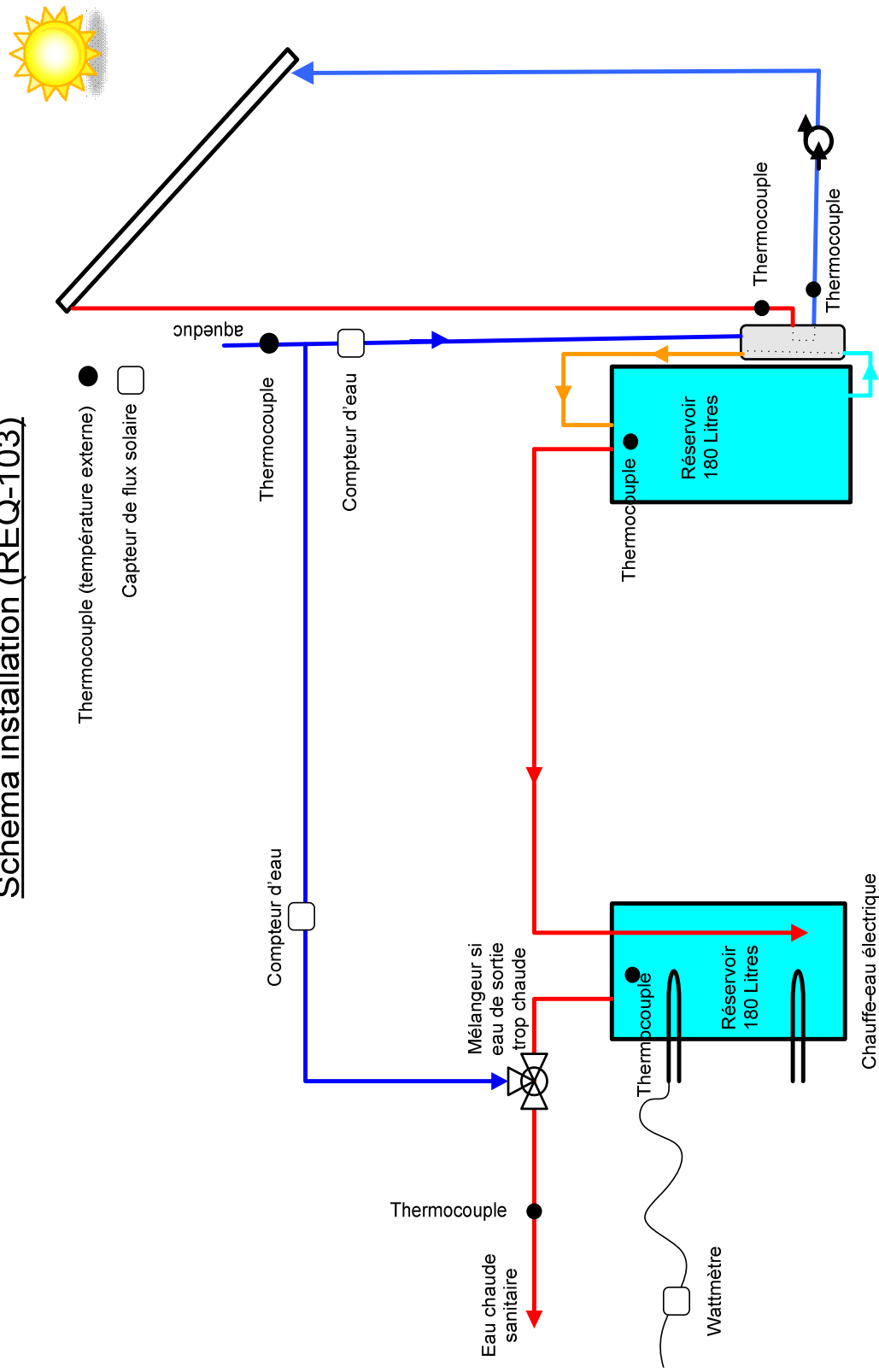


Schéma installation (REQ-103)





POUR PLUS D'INFORMATION :

www.efficaciteenergetique.mrnf.gouv.qc.ca
1 877 727-6655

**Ressources naturelles
et Faune**

Québec 