

RELIOS: une nouvelle manière de chauffer son eau

Caroline Lepot

29 février 2016

1 Historique du projet

Passionnée depuis toujours par l'environnement et le développement durable, j'ai voulu mettre à profit mes compétences développées pendant ma formation d'ingénieur civil pour réaliser un travail de fin d'études¹ concret et inscrit dans une optique de respect de la Terre et de ses habitants.

C'est ainsi qu'après de nombreuses discussions avec le professeur Hervé Jeanmart et l'ingénieur Sébastien Meyer, j'ai décidé de concevoir, réaliser et évaluer un capteur solaire en matériaux de récupération, pour chauffer l'eau. Le capteur réalisé est appelé RELIOS (pour Reuse of Elements for Light Irradiated Operational System), contraction de Réutilisation et Hélios, soleil en grec.

Il s'agissait de développer un modèle conçu pour encourager tout à construire lui-même son installation solaire de faible coût.

Aujourd'hui, le capteur RELIOS est devenu une réalité, sous la forme d'un démonstrateur fonctionnel. Et mon ambition est d'en faire maintenant un projet largement partagé pour que quiconque ait envie de construire son chauffage solaire puisse le faire de façon efficace et responsable.

Dans ce dossier, vous trouverez une description du projet RELIOS, depuis les objectifs visés jusqu'aux résultats obtenus.

2 Contexte et objectifs du projet

Un peu moins de 40% de l'énergie utilisée en Europe sert à chauffer l'eau et l'air. Cela représente approximativement un tiers des émissions de gaz à effet de serre totales. Une solution durable afin de réduire cet impact environnemental est de se tourner vers les énergies renouvelables et plus particulièrement vers l'énergie solaire, une ressource illimitée et partout disponible [1].

Cependant, installer chez soi un chauffe-eau solaire (CES) a un certain coût. Par exemple, en Belgique, il faut compter 3000 à 5000 € (hors TVA) pour le matériel, avec une surface de capteur de 4 m², plus 1000 € de frais d'installation. S'ajoutent à cela des frais pour le système d'appoint qui est obligatoire dans nos régions car le CES ne couvre que 50% à 70% de nos besoins [2]. Malgré les primes qui peuvent monter jusqu'à 3000 € selon les régions [3], le coût d'une installation reste conséquent et le temps de retour sur investissement est estimé entre 10 et 20 ans.

Premier objectif : rendre abordable cette solution énergétique

Afin de pouvoir offrir à tout un chacun l'opportunité de détenir une installation solaire à faible coût, une solution consiste à ne pas acheter les matières premières en se les procurant gratuitement et à construire soi-même l'installation afin d'éviter des coûts de production. Pour ce faire, il est possible

1. Travail de fin d'études d'ingénieur civil à l'Ecole Polytechnique de Louvain en 2015

de récupérer des matériaux qui ont déjà eu une ou plusieurs utilisations, autrement dit de valoriser les déchets.

Deuxième objectif : fournir un apport satisfaisant en eau chaude sous nos latitudes

L'inconvénient principal du capteur solaire thermique en matériaux de récupération est une efficacité et une durée de vie plus faibles par rapport à une installation commerciale/professionnelle. Un des objectifs était donc de concevoir un capteur capable de fournir une proportion non-négligeable (supérieure à 40%) des besoins en eau chaude d'une famille belge de quatre personnes. Évidemment, le concept RELIOS est exploitable dans le monde entier.

Troisième objectif : apporter une plus-value sociétale

D'autres buts du projet, plus sociaux, étaient d'aider ceux qui ne peuvent investir dans une installation solaire professionnelle à concrétiser leur envie, de montrer à ceux qui sont intéressés par le bricolage qu'il est possible de concevoir et réaliser son propre capteur solaire, de montrer que les déchets ont une valeur et de conscientiser les personnes à la problématique environnementale. De plus, il y a le plaisir de construire, et de le faire ensemble.

Dans ce contexte, la finalité de mon travail de fin d'études était donc de **concevoir** un capteur solaire en matériaux de récupération pour la production d'eau chaude, de le **réaliser**, d'en **évaluer** les performances thermiques et l'impact environnemental et de **compiler** les résultats dans le but de guider toute personne intéressée par le projet dans le choix de sa réalisation personnelle.

Aujourd'hui et maintenant que la faisabilité technique de RELIOS est démontrée, l'objectif est de mettre le concept à la disposition du plus grand nombre, de façon à réellement influencer sur la manière dont on chauffe son eau.

3 Description détaillée du projet RELIOS

3.1 Caractère original

L'idée de construire soi-même un capteur solaire n'est pas nouvelle. Internet révèle que de nombreuses personnes en ont déjà fait l'expérience. Plusieurs types de capteurs autoconstruits peuvent être distingués, notamment ceux qui sont fabriqués avec des matériaux de récupération et ceux fabriqués avec des nouveaux matériaux, s'inspirant des capteurs commerciaux.

Un ingénieur brésilien, José Alano, a développé il y a une dizaine d'années un capteur solaire en bouteilles PET et Tetra Pack, représenté à la figure 1. Ce capteur dénommé capteur PET est constitué d'un ensemble de chaînes de bouteilles PET, disposées en parallèle et enchâssées sur un tube de PVC. Des cartons Tetra Pak sont insérés dans chaque bouteille, sous le tuyau. Le réseau de tube ainsi formé est connecté au réservoir du système pour y faire circuler l'eau à chauffer, par système de thermosiphon [4]. Nicolas Bruyr s'y est intéressé, en 2014, dans le cadre de son travail de fin d'études à l'École Polytechnique de Louvain dans lequel il a caractérisé les performances thermiques du capteur PET. Il a démontré que, grâce à un très bon ensoleillement au Chili (1,5 fois supérieur à celui de la Belgique), l'installation était capable de fournir 50% des besoins en eau chaude d'une famille chilienne.



FIGURE 1 – Prototype de capteur PET réalisé par José Alano. « Celui-ci est constitué d'un ensemble de chaînes de bouteilles, disposées en parallèle. Chaque chaîne est constituée par une série de bouteilles PET, enchâssées sur un tube de PVC. Celui-ci est peint en noir afin de favoriser l'absorption des rayonnements solaires. Des cartons Tetra Pak, pliés de manière adéquate et également peints en noir, sont insérés dans chaque bouteille, sous le tuyau. Le réseau de tube ainsi formé est connecté au réservoir du système pour y faire circuler l'eau à chauffer, par système de thermosiphon » [4].

Les Ateliers de la rue Voot à Bruxelles² offrent une formation aux techniques solaires : de la théorie à la pratique, un capteur solaire thermique est réalisé en groupe, très proche d'un capteur commercial (ce capteur est visible à la figure 2). Cette formation de douze semaines, que j'ai suivie personnellement, est très enrichissante. Elle permet d'approcher la théorie concernant le chauffe-eau solaire d'une façon ludique. De plus, en montant entièrement le capteur, le fonctionnement et le rôle de chaque composant peuvent être facilement assimilés. Le groupe prend également plaisir à la construction et interagit, chacun partageant sa propre expérience sur le sujet.



FIGURE 2 – Capteur solaire autoconstruit de la rue Voot. Réalisé en matériaux nobles (verre à faible teneur en fer, cuivre, aluminium).

Même si l'autoconstruction de capteur solaire n'est pas un concept nouveau, il existe cependant peu d'études scientifiques, tant sur la conception du capteur que sur la détermination de ses performances. Le projet RELIOS est original en ce sens, tout comme dans la volonté de s'appuyer sur des matériaux recyclés intégrés dans un design compatible avec les exigences de nos contrées.

2. Ateliers de la rue Voot asbl : 91, rue Voot - 1200 Bruxelles. www.voot.be. Formation dispensée par Jean Motllo.

L'originalité réside aussi dans le fait que cet apport scientifique permet d'améliorer, de donner un plus à une technique "populaire", c'est-à-dire réalisée par quelqu'un de non "professionnel", mais aussi à une technique "libre", c'est-à-dire non brevetée, accessible à tous.

3.2 Déroulement du projet

Il y a eu trois phases pendant le travail : la phase de conception, la phase de construction et la phase d'évaluation des performances. Pendant tout le déroulement du projet, un élément essentiel en a fait sa réussite : le travail d'équipe.

3.2.1 Conception du capteur solaire thermique

Par rapport à un capteur solaire réalisé avec des matériaux neufs, le projet RELIOS était confronté à un challenge de taille : utiliser des matériaux de récupération dont on ne maîtrise à priori ni la forme, ni la matière, ni la provenance, ni le conditionnement.

C'est pourquoi, il a été décidé d'opter pour une démarche de conception originale qui puisse permettre d'aboutir à un design utilisant des matériaux de récupération et facilement constructible pour un bricoleur averti. Cette démarche est basée sur l'identification des problèmes liés à l'application et a été effectuée en groupe multidisciplinaire. L'idée était de se réunir pour utiliser la capacité collective d'un groupe à développer des concepts inventifs. En effet, l'important de cette démarche était de réunir des personnes avec des connaissances et expériences différentes afin d'avoir un large panel d'idées.

La figure 3 reprend la trame méthodologique de la démarche.



FIGURE 3 – Trame de la démarche de conception.

Les solutions dégagées ont ensuite été évaluées puis l'une seule d'entre elles a été choisie pour être implémentée. Il s'agit d'un capteur dont la spécificité est d'utiliser des condenseurs de réfrigérateur comme tubes caloporteurs.

3.2.2 Réalisation du capteur solaire thermique

La réalisation du capteur a été axée vers la facilité de mise en œuvre, appuyée sur des matériaux simples, intégrant l'utilisation de condenseurs de réfrigérateur. La solution retenue a été réalisée en approximativement 20 heures. Quelques photos sont disponibles aux figures 4 à 6. Le résultat est montré à la figure 7. Le prix total est de 60 € pour une surface d'ouverture de $2 m^2$ (surface du verre) et une surface d'absorption de $1,63 m^2$.

Le boîtier, qui maintient en place le capteur, est formé par une planche arrière en contre-plaqué et des poutres pour renforcer la structure (ce sont les seules parties du capteur qui ont achetées et non récupérées). Pour les côtés, des vieilles planches en contre-plaqué marin ont été utilisées. Le couvercle transparent limite les pertes de convection et protège le capteur des intempéries. Le choix s'est porté sur le verre sodocalcique (simple vitrage) car il a un très bon coefficient de transmission et un faible coefficient de réflexion, il est résistant aux UV et aux intempéries. Un professionnel dans le remplacement de châssis a pu découper quatre carreaux dans une vitre double vitrage abîmée. L'isolant thermique

limite les pertes de chaleur. Le bois apporte déjà une première isolation, que l'on peut améliorer. Le principal isolant utilisé est de la mousse de polyisocyanurate rigide (producteur Recticel) provenant de chutes [5].

Dans un capteur solaire thermique, l'absorbeur absorbe le rayonnement solaire pour le transformer en chaleur et la transférer au fluide caloporteur. Les tubes caloporteurs collectent la chaleur et permettent la circulation du fluide. Pour remplir ces fonctions, quatre condenseurs de réfrigérateur (tuyaux et grilles) ont été utilisés (trouvés dans des magasins d'électroménager). Ceux-ci contenaient des hydrofluorocarbures (HFC) comme gaz frigorigènes. Ces gaz ne participent pas à la destruction de la couche d'ozone mais contribuent fortement à l'effet de serre. Pour récupérer les condenseurs, il a fallu couper dans le circuit frigorigène, ce qui a provoqué l'échappement de ces gaz (non idéal d'un point de vue environnemental). Il a été essayé de récupérer des condenseurs déjà vidés selon les normes mais la requête adressée en ce sens à Recupel a été rejetée. Ce point a été intégré dans l'analyse du cycle de vie du capteur afin de vérifier si, par rapport à un capteur commercial, l'impact global est plus faible ou non.

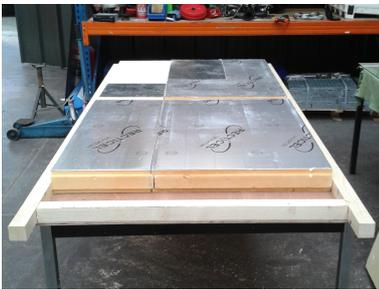


FIGURE 4 – Découpe de la plaque arrière, des poutres pour la structure et de l'isolant + assemblage.



FIGURE 5 – Soudure des condenseurs aux collecteurs d'entrée et de sortie.

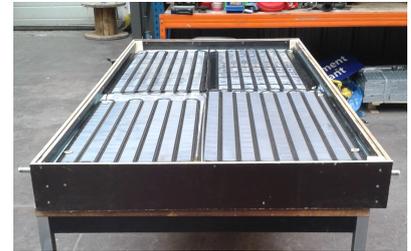


FIGURE 6 – Résultat du capteur avec les côtés fixés.

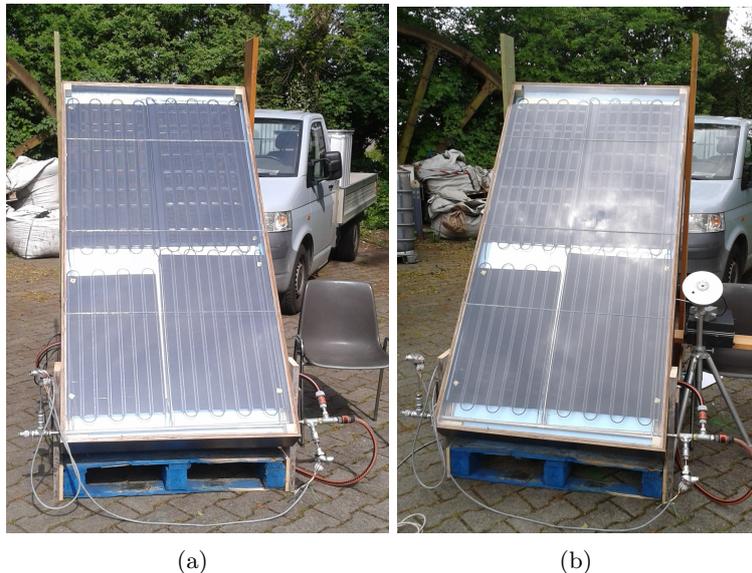


FIGURE 7 – Capteur RELIOS construit.

4 Evaluation du capteur RELIOS

Le capteur a été évalué selon trois axes pour en connaître la valeur réelle.

4.1 Evaluation des performances thermiques

Le rendement instantané du capteur RELIOS a été déterminé selon la norme européenne EN12075-2 [6]. Selon cette norme, les courbes de rendement instantané sont dessinées en fonction de $T_m - T_a$ (T_m est la température moyenne du fluide dans le capteur et T_a la température ambiante) pour $G_t = 1000 \text{ W/m}^2$ (puissance du rayonnement solaire), à la figure 8. Les courbes de rendement d'un capteur commercial (Viessman), d'un capteur autoconstruit ressemblant à un capteur commercial (capteur Voot) et du capteur PET de Nicolas Bruyr servent de référence.

Le résultat a satisfait les attentes : le capteur RELIOS est plus performant que le capteur PET et sa performance n'est pas éloignée de celle de capteurs commerciaux. Il faut avoir conscience que l'objectif de ce travail n'était pas d'avoir un rendement à la hauteur de celui des capteurs commerciaux mais bien d'avoir un rendement acceptable afin de fournir une partie des besoins en chaude d'une famille de quatre personnes en Belgique.

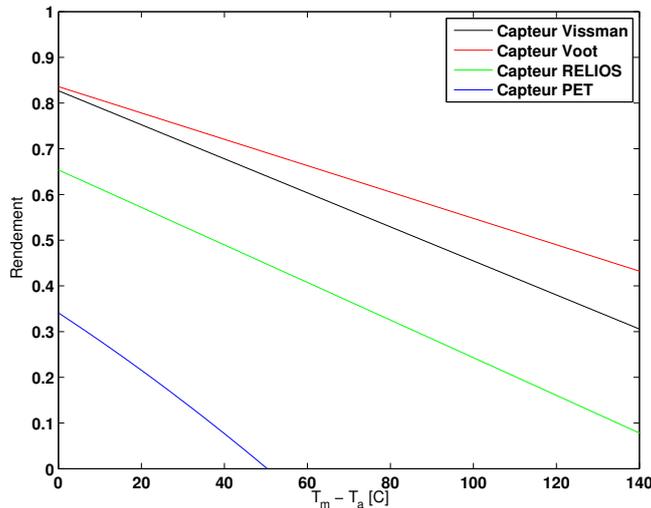


FIGURE 8 – Comparaison des courbes de rendement instantané du capteur RELIOS, d'un capteur commercial (Viessman de type Vitosol 200-F), du capteur de la rue Voot et du capteur PET (par Nicolas Bruyr), en fonction de $T_m - T_a$ pour $G_t = 1000 \text{ W/m}^2$.

Cette partie des besoins couverte par un chauffe-eau solaire a été simulée via un logiciel [7] pour une surface d'ouverture de capteur RELIOS de 4 m^2 . Les besoins en eau chaude sont estimés à 200 litres à 50°C par jour. Le type d'installation est une installation à circulation forcée avec échangeur thermique. L'apport solaire annuel a ainsi été estimé à 1560 kWh/an pour un besoin de 3600 kWh/an . Cela représente une fraction de **43%**, contre 60% pour une même surface de capteurs commerciaux. Par conséquent, un peu moins de la moitié des besoins d'une famille belge de quatre personnes sont couverts grâce à une installation solaire couplée à RELIOS. Cette proportion est non négligeable.

4.2 Evaluation de l'impact environnemental - Impact sur l'utilisation de la matière et de l'énergie - Amélioration durable des performances environnementales/énergétiques

Utiliser des matériaux de récupération s'inscrit directement dans une optique de décroissance de l'utilisation des ressources naturelles. De plus, si la technologie de chauffage solaire est plus accessible économiquement, plus de personnes pourront l'utiliser, ce qui diminuera la consommation globale en mazout/gaz/électricité.

Grâce à RELIOS, on gagne triplement : 1. sur la quantité d'énergie et de ressources nécessaires pour construire un système de chauffage ; 2. sur l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau en utilisant celle, gratuite, dispensée par le soleil ; 3. de par la prise de conscience opérée par les utilisateurs eux-mêmes fabricants de RELIOS qui verront leurs comportements vis-à-vis de l'utilisation de ressources positivement renforcés.

Afin de vérifier que RELIOS est légitime du point de vue environnemental, donc que sa construction a un impact environnemental globalement moindre que la construction d'un capteur commercial, son cycle de vie a été étudié. Ce cycle de vie se résume principalement à l'étape de production des matériaux. Seules les planches en bois pour le boîtier et la vidange des gaz frigorigènes présents dans les condenseurs ont un impact (pas les matériaux de récupération). Cette analyse de cycle de vie a été comparée à celle d'un capteur commercial, effectuée dans la littérature, et à celle de la rue Voot, effectuée dans ce travail. Ce n'est qu'au niveau « changement climatique » ($kg\ CO_{2eq}$) que RELIOS a un impact beaucoup plus important que les autres capteurs. Cela est dû à la réémission des gaz frigorigènes. Normalement, la vidange doit être contrôlée et être effectuée par des opérateurs de fluides frigorigènes, qui récupèrent le fluide dans une bouteille de récupération grâce à une station de purge spéciale. Le fluide peut ensuite soit être réutilisé après avoir été filtré, soit être recyclé, soit être détruit. L'idéal serait de trouver un partenariat avec une entreprise de démantèlement de réfrigérateur pour que la vidange des condenseurs soit faite selon les normes.

En ce qui concerne d'autres catégories (acidification, eutrophisation, (éco)toxicité, épuisement des énergies fossiles), RELIOS a un impact bien moins important. Le tableau 1 reprend les facteurs de proportionnalité entre la production du capteur Voot et du capteur RELIOS pour les différentes catégories d'impact environnemental.

Catégorie d'impact	Unités	Facteur de proportionnalité
Changement climatique	$kg\ CO_{2,eq}$	$\div 3$
Epuisement de l'ozone	$kg\ CFC - 11_{eq}$	équivalent
Acidification terrestre	$kg\ SO_{2,eq}$	$\times 10$
Eutrophisation de l'eau douce	$kg\ P_{eq}$	$\times 55$
Eutrophisation marine	$kg\ N_{eq}$	$\times 10$
Toxicité humaine	$kg\ 1,4 - DB_{eq}$	$\times 37$
Ecotoxicité (de l'eau douce, terrestre et marine)	$kg\ 1,4 - DB_{eq}$	$\times 68$
Epuisement des métaux	$kg\ Fe_{eq}$	$\times 103$
Epuisement des énergies fossiles	$kg\ oil_{eq}$	$\times 3$

TABLE 1 – Facteurs de proportionnalité entre la production du capteur Voot (type commercial) et celle du capteur RELIOS pour différentes catégories d'impact environnemental.

4.3 Evaluation multicritère

Vous trouverez en annexe cette analyse multicritère détaillée.

Dans le but de mesurer pleinement la valeur de la réalisation de RELIOS, une analyse multicritère a été effectuée. Le capteur est évalué selon plusieurs critères, plus ou moins quantifiables. Pour chaque critère, une note est attribuée de 0 à 4 (0 équivaut à très mauvais ou inexistant pour ce critère, 1 à mauvais, 2 à moyen, 3 à bon, 4 à très bon pour ce critère). Les notes attribuées par critère sont plus ou moins **subjectives**, mais il a été essayé de quantifier au maximum les critères pour diminuer cette part de **subjectivité**, qui est **assumée**. L'analyse multicritère a également été effectuée pour trois autres types de capteurs : un capteur commercial, le capteur autoconstruit Voot et le capteur PET de Nicolas Bruyr. Le but n'est pas de comparer expressément les quatre types de capteurs mais de donner un référentiel. En effet, il n'y a pas de bonne ou de mauvaise solution, tout est une question de point de vue de l'investisseur/constructeur/utilisateur, de l'importance qu'il accorde à chaque critère. Les critères et les notes attribuées sont représentés dans un graphe en étoile à la figure 9.

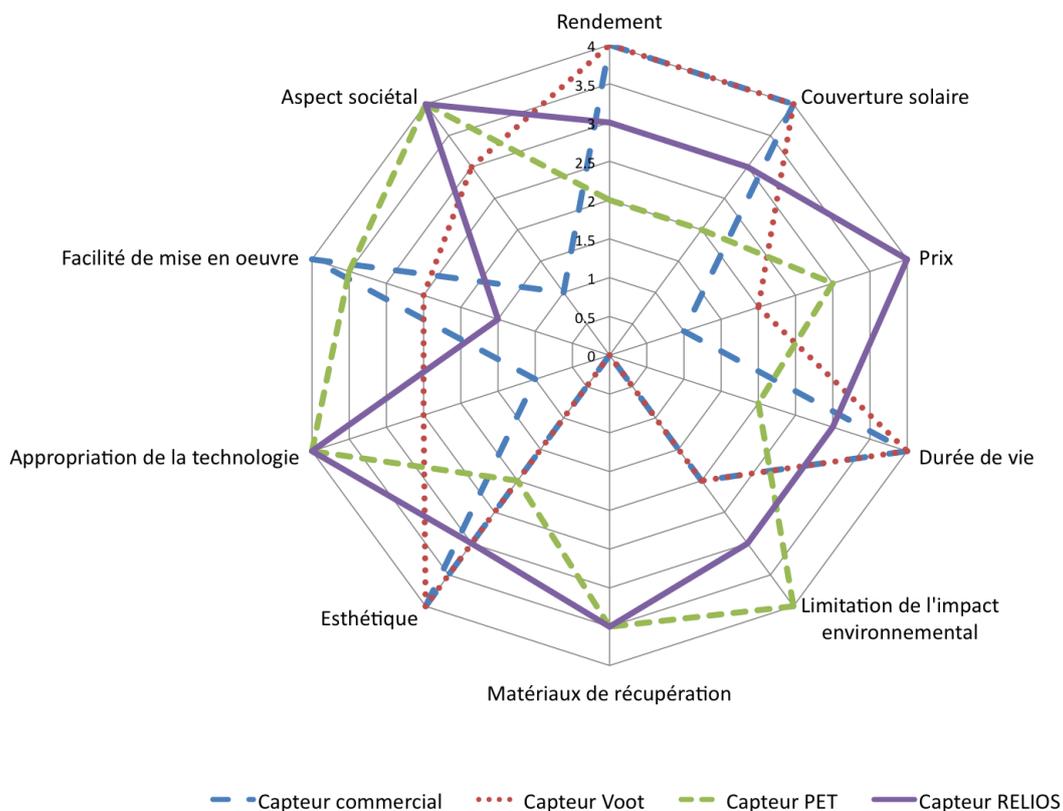


FIGURE 9 – Analyse multicritère de quatre types de capteurs solaires différents : capteur commercial, capteur autoconstruit de la rue Voot, capteur autoconstruit PET et capteur autoconstruit RELIOS.

Le capteur RELIOS est bon voire très bon dans tous les critères, sauf pour la facilité de mise en oeuvre. Cela montre que sa construction est destinée à un bricoleur ayant de l'expérience. Par rapport au capteur PET, il est plus performant d'un point de vue technique. Par rapport aux capteurs Voot et commercial, même s'il est un peu moins performant, il apporte un réel plus au niveau des critères sociaux-économiques. En considérant que la même importance est accordée à chaque critère, la légitimité du capteur RELIOS est prouvée.

5 Conclusion de l'étude de faisabilité

Les défis de ce projet étaient de montrer qu'il est possible d'avoir une solution énergétique abordable et efficace pour la production d'eau chaude en concevant et construisant soi-même un capteur solaire thermique avec des matériaux de récupération.

Ces défis ont été relevés car, ne coûtant que 120€ pour 4 m², RELIOS, couplé à une installation sanitaire classique, serait capable de produire 43% des besoins en eau chaude d'une famille belge de quatre personnes. Cela représente 2/3 de la couverture solaire d'une installation professionnelle, pour une même surface de capteur (4m²). Une solution pour accroître cette couverture serait d'augmenter la surface de capteurs. Par exemple, utiliser 6m² pour une famille de quatre personnes couvrirait 55% de leurs besoins.

Ce capteur en matériaux de récupération apporte un bénéfice environnemental car sa production a globalement moins d'impact que celle d'un capteur commercial. Néanmoins, une solution de vidange contrôlée des fluides frigorigènes en accord avec une filière comme Recupel limiterait encore plus cet impact.

Ce capteur satisfait non seulement des critères techniques et économiques mais aussi des critères sociaux comme l'appropriation de la technologie et l'aspect sociétal.

Le travail effectué n'a aucunement la prétention d'être complet. En effet, plusieurs améliorations vont être poursuivies, comme étudier le comportement du capteur sur le long terme afin d'en connaître les réelles performances et sa durée de vie, de développer ensuite un circuit pour réaliser un chauffe-eau solaire complet ou encore d'évaluer et comparer les autres solutions pour le capteur qui ont été mises de côté après l'étape de conception.

Au delà de cette pré-étude, il s'agit maintenant de construire le plan de communication qui permettra de faire en sorte que RELIOS puisse réellement impacter la façon dont monsieur et madame tout le monde envisagent de chauffer leur eau. C'est l'objectif que je poursuis actuellement : mettre en place la démarche qui fera que ceux qui le désirent puissent aisément construire leur RELIOS.

D'autre part, j'ai eu la satisfaction de voir l'ambition d'un monde plus durable grâce à RELIOS récompensée d'un prix décerné par l'Association des Ingénieurs de Louvain (AILouvain) en 2015 : celui de "l'Universalité" décerné au travail de fin d'étude ayant un impact directement accessible au plus grand nombre.

6 En quoi RELIOS peut-il améliorer le bien-être de la société ?

Les objectifs sociaux de RELIOS sont d'aider ceux qui ne peuvent investir dans une installation solaire professionnelle à concrétiser leur envie, de montrer à ceux qui sont intéressés par le bricolage qu'il est possible de concevoir et réaliser son propre capteur solaire, de montrer que les déchets ont une valeur et de conscientiser les personnes aux problématiques environnementales.

De nombreux avantages peuvent être tirés de la construction/utilisation de RELIOS, outre l'aspect économique. Utiliser des matériaux de récupération s'inscrit directement dans une optique de décroissance de l'utilisation des ressources naturelles. De plus, si la technologie de chauffage solaire est plus accessible économiquement, plus de personnes pourront l'utiliser, ce qui diminuera la consommation globale en mazout/gaz/électricité. Par ailleurs, pendant la recherche des matériaux, le constructeur aura des contacts avec d'autres, favorisant ainsi les interactions sociales et le partage. En expliquant son projet, il pourra intéresser certaines personnes et peut-être les convaincre à se lancer à leur tour dans l'aventure. Enfin, le constructeur pourra prendre plaisir à créer un outil qui lui permet de se chauffer.

Références

- [1] C.J. Koroneos and E.A. Nanaki. Life cycle environmental impact assessment of a solar water heater. *Journal of Cleaner Production* 37 (2012) 154-161.
- [2] Jean Motllo. *Syllabus de l'atelier « Techniques Solaires » et Notes prises au cours*. Ateliers de la rue Voot, Bruxelles, 2014.
- [3] Portail de l'énergie en Wallonie. Prime pour l'installation de panneaux solaire thermiques. <http://energie.wallonie.be/fr/la-prime-pour-l-installation-de-panneaux-solaires-thermiques-revue-a-la-hausse.html?IDD=95687&IDC=6302>. Consulté le 18 mai 2015.
- [4] Nicolas Bruyr. *Etude et mise en oeuvre d'un chauffe-eau solaire en bouteilles PET*. Ecole Polytechnique de Louvain, 2014.
- [5] Recticel insulation. Revêtement de façade avec powerwall. <http://www.recticelinsulation.be/be-fr/specification/revêtement-de-façade-avec-powerwall>. Consulté le 20 avril 2015.
- [6] Comité européen de normalisation. Norme européenne EN12975-2 - installations solaires thermiques et leurs composants - capteurs solaires - partie 2 : Méthodes d'essai. pages 22–40, 2006.
- [7] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Méthode de dimensionnement solo. http://www.tecsol.fr/st_fr/default.htm. Consulté le 29 mai 2015.