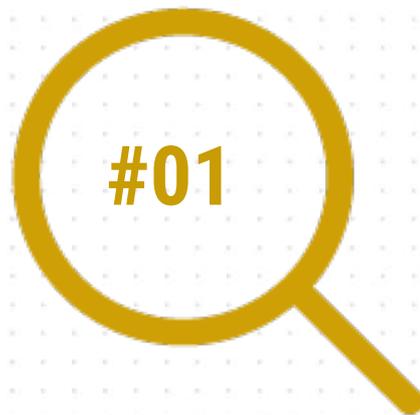


LES ENQUÊTES DU LOW-TECH LAB



APALA et ENERLOG

Annexes

Ce projet est financé par



Le Low-tech Lab est soutenu par

Schneider Electric *Fondation*



VILLE DE
BOULOGNE-
BILLANCOURT

Annexe 1 : Fiche technique poêle fusée à inertie	2
Annexe 2 : Détail des offres et impact des petits acteurs	8
Annexe 3 : Interview pour Les Autres Possibles	11
Annexe 4 : Fiche technique du capteur à air-chaud	13
Annexe 5 : Retours des premiers bénéficiaires	23
Annexe 6 : Transfert de responsabilité	25
Annexe 7 : Déroulé détaillé d'une formation Enerlog	26
Annexe 8 : Statuts actuels de la société Enerlog	27
Annexe 9 : Comparatif des statuts juridiques possibles	28



Annexe 1 : Fiche technique poêle fusée à inertie

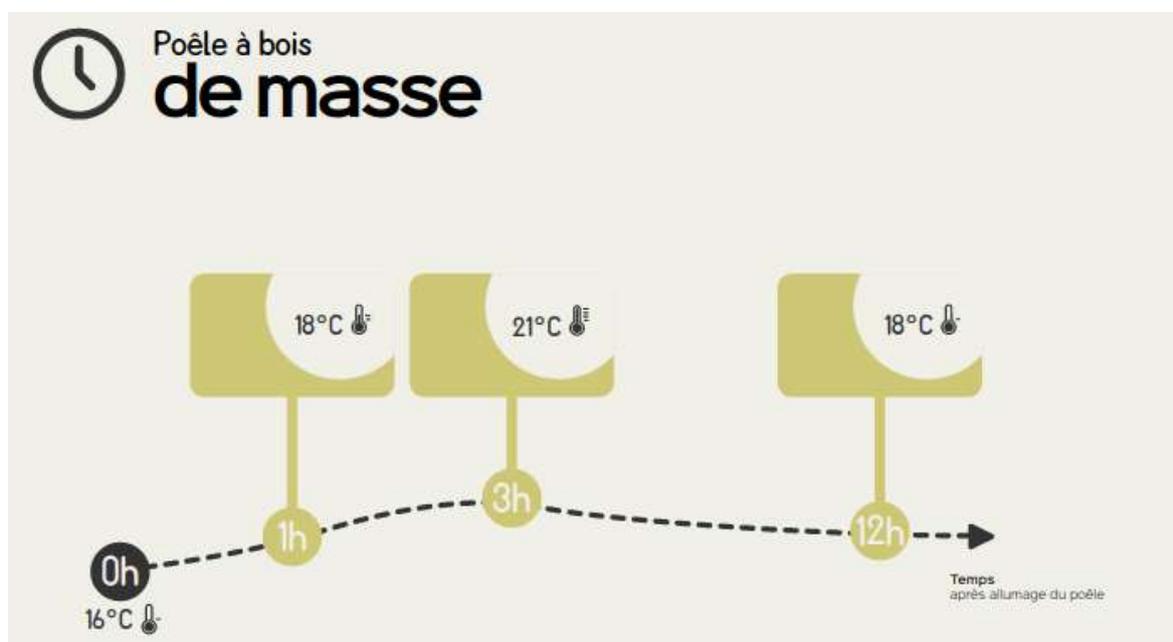
Sous-forme d'une interview de Jonathan Guéguen, co-fondateur d'APALA, par Guérolé Conrad, salarié du Low-tech Lab.

Principe général de fonctionnement

C'est quoi un poêle de masse ? Ça fonctionne comment ?

Le poêle de masse se caractérise par une taille imposante et un poids variant généralement entre 1 et 6 tonnes (jusqu'à plusieurs dizaines de tonnes dans d'autres régions du globe où leur installation et leur utilisation sont plus habituelles, culturelles¹). Cela s'explique par les matériaux lourds utilisés afin de stocker l'énergie d'une flambée et restituée sur une longue période une fois le feu éteint. La pierre ou la brique peuvent être utilisées et restituent la chaleur dans la durée : on parle également de poêle à inertie. La présence de ces briques, également appelée zone tampon permet d'apporter un confort thermique que ne présentent pas les poêles classiques.

Le principe du poêle à accumulation est de stocker la chaleur des gaz de combustion dans une batterie thermique (composée de matériaux à forte inertie comme la brique, la pierre, la terre, ou autre). Un poêle de masse diffuse principalement sa chaleur par rayonnement basse température, en chauffant directement les masses qui l'entourent (objets, habitants, murs, plafond, etc). Concrètement, on réalise une grosse flambée et la température de l'habitat augmente de façon progressive et homogène toute la journée, contrairement aux chauffages par convection (convecteurs, radiateurs, poêle en fonte) qui provoquent beaucoup de déplacements d'air et souvent un inconfort thermique.



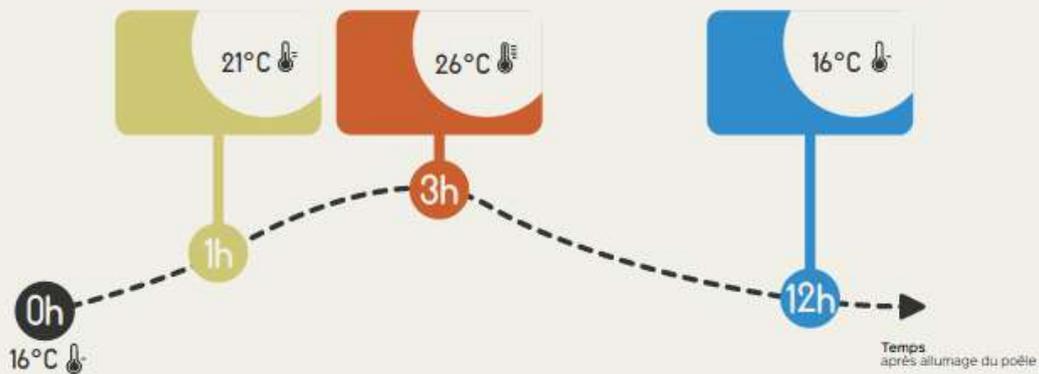
Courbe température d'un poêle de masse - Fonds Agir Low-tech Licence CC BY SA 4.0.

¹ Voir l'article "Bains de soleil dans le salon : poêles de masse et murs chauffants" de Kris de Decker dans le Low-tech Magazine : <https://solar.lowtechmagazine.com/fr/2008/12/tile-stoves.html>





Poêle à bois classique



Courbe température d'un poêle classique - Fonds Agir Low-tech Licence CC BY SA 4.0.

Pour accroître l'efficacité de la flambée, le poêle à accumulation utilise le *principe de la post-combustion*. Ce principe vise à apporter de l'air neuf (air secondaire) aux *gaz émis* par la flambée pour déclencher leur *combustion*. Pour ne pas perdre cette énergie en rejetant directement les fumées dehors, le poêle fait *circular ce flux dans des conduits ou une cloche qui font office de batterie thermique*. Cela permet de diffuser la chaleur dans la masse par conductivité et ainsi de faire passer les gaz de 1000 °C à 200 °C avant de les laisser s'échapper à l'extérieur. Ce procédé permet une combustion quasi-complète et donc très peu de rejet de particules fines.

Besoin visé & Raisons des choix de conception

Quel est votre constat de départ le ou les besoins auxquels vous cherchez à répondre par votre activité ? Après de qui vous êtes-vous renseigné ?

Des études de l'ADEME² montrent qu'en France, 66% de l'énergie consommée dans un foyer est dépensée pour le chauffage. Il nous est donc apparu de manière assez évidente que ce sujet méritait d'être étudié.

Pourquoi le chauffage biomasse ?

Avant de monter ce projet, j'ai travaillé quelques années dans une entreprise qui fabriquait des éoliennes de type Darrius. Je m'intéressais donc déjà au monde de l'énergie et je suis tombé sur un rapport de l'ADEME et de l'IGN³ sur la gestion de la ressource en bois et le chauffage domestique biomasse. Je me suis rendu compte que le bois, si sa gestion est bien faite, est la meilleure source d'énergie renouvelable pour le chauffage ! En effet c'est :

- une ressource abondante et locale
- la seule dont on peut améliorer le gisement (la quantité exploitable disponible)
- largement compétitive en terme de prix

² Notamment l'étude disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-chauffer-mieux-moins-cher.pdf>

³ Disponible sur : https://cibe.fr/wp-content/uploads/2020/03/prix-combustibles-bois_domestique_2019_rapport.pdf



- il est neutre en CO2 car en brûlant, il émet le carbone qu'il a stocké en poussant, qu'il aurait de toute façon libéré au cours de sa dégradation naturelle.
- facile à stocker, il améliore son pouvoir calorifique avec le temps, et donc le rendement de combustion.

Si en plus, on peut chauffer de l'eau sanitaire, et même cuisiner avec, alors on arrive aux 3/4 des consommations dans l'habitat. Et pour autant le chauffage bois est très peu développé en France. Je me suis dit qu'il fallait proposer quelque chose.

Pourquoi le poêle de masse ? Que savez-vous des autres acteurs qui s'intéressent à cette solutions techniques ? et ailleurs dans le monde ?

Ma porte d'entrée vers le poêle de masse s'est faite par le Poêle Fusée (Rocket Stove). Je l'ai découvert avec un ami anglais de l'IUT qui faisait son thé avec un Rocket Stove. Il m'expliqua que ce type de foyer permet d'améliorer la combustion du bois, donc de diminuer grandement la quantité de bois nécessaire et la pollution liée aux fumées. Le sujet m'a passionné et je me suis demandé si l'on pouvait chauffer des maisons ainsi.

En rentrant, j'ai donc creusé le sujet. Je suis tombé sur les travaux de lanto Evans, un designer à l'origine de nombreux travaux sur le Rocket Stove dans les années 70. J'ai commencé à traduire sa documentation et je me suis rendu compte qu'il y avait déjà une forte communauté qui se construisait sur le sujet, particulièrement dans les pays du Nord et de l'Est de l'Europe. Par la suite, j'ai découvert les travaux de Peter van den Berg, un énergéticien néerlandais passionné et méticuleux, qui a beaucoup travaillé sur l'amélioration des performances du Rocket Stove. En 2011, il est parvenu à des rendements de combustion de 95%. C'était déjà assez incroyable !

C'est le premier système que nous avons installé ! Ça se trouvait dans le centre de Nantes, chez un ami qui avait des problématiques de chauffage. De par ses retours d'expériences à l'utilisation, nous avons rapidement fait évoluer le système. Le Rocket Stove ne permettait pas de brûler assez de bois d'un coup et donc n'était pas assez puissant pour chauffer un habitat (sans faire 6 flambées par jour).

Donc pendant plusieurs années, nous, ainsi qu'une partie de la "communauté rocket stove", avons commencé à étudier comment augmenter l'inertie et la capacité de ces poêles. Nous avons alors découvert les "poêles de masse" et avons débuté nos premiers essais de construction.

En 2018, après des centaines d'analyses de combustion et de géométrie différentes testées, Peter est parvenu à une version stable et beaucoup plus puissante du Rocket : le Batchrocket. Avec ce système, beaucoup plus massif, on pouvait brûler jusqu'à 28 kg de bois par flambée ! On pouvait alors l'utiliser comme cœur de chauffe pour construire des poêles de masse capables de chauffer de plus grands volumes moins bien isolés.

Par la suite, d'autres améliorations ont été développées. La géométrie intrinsèque du Batchrocket obligeait à faire des poêles très hauts et peu pratiques pour chauffer de l'eau ou cuisiner par exemple. De plus, les gaz en sortie de turbulence étaient tellement chaud que cela posait des problèmes de dilatation des matériaux. Les joints fissaient, se cassaient et puis les briques bougeaient. C'est pourquoi, entre 2016 et 2018, l'association française Uzume (en particulier Yasin Gach et Christophe Glaziou) a développé le Batchblock ! Ils ont notamment repensé le cœur de chauffe du Batchrocket⁴, ce qui permet de fabriquer des poêles de masse plus petits, plus robustes et plus puissants.

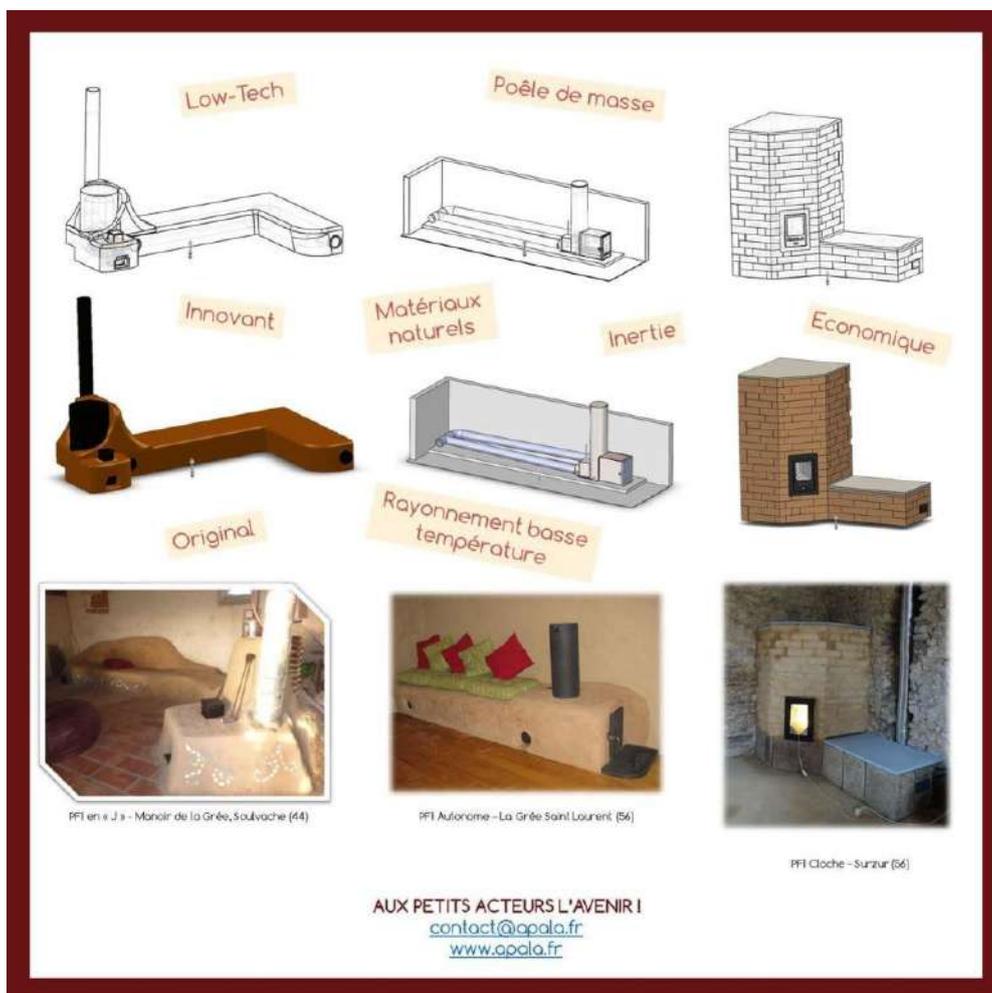
⁴ Plus d'information sur le site : <https://www.uzume.fr/batchrocket>



Offre de produit / service délivrée

Quelles réponses avez-vous trouvées les plus adaptées pour répondre à ce besoin? Quels sont les produits ou services que vous proposez? En quoi vous ont-ils paru être les mieux adaptés? Quels sont ceux que vous voudriez développer par la suite? Quels arbitrages ou compromis avez-vous dû faire par rapport au besoin pré-identifié?

Au début, nous étions beaucoup dans l'expérimentation et l'amélioration itérative. Nous avons réalisé quelques installations qui nous permettaient en même temps de faire évoluer le modèle du poêle de masse. Le premier modèle était un poêle à foyer ouvert (sans porte), avec une accumulation sous forme de banc chauffant. Nous avons rapidement évolué vers un modèle avec foyer fermé pour des raisons d'efficacité thermique. Et enfin vers un poêle à foyer fermé mais avec une accumulation en cloche, car beaucoup plus compacte (voir illustration ci-dessous).

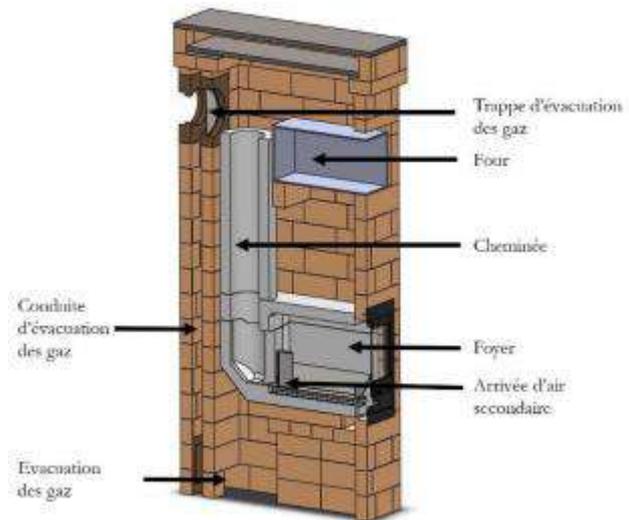


Évolution des modèles de poêles de masse étudiés par APALA ©.

Le modèle que nous proposons actuellement (voir illustration ci-dessous) est le fruit de six années de recherches pendant lesquelles nous avons beaucoup appris notamment en sollicitant les poêliers aux quatre coins de la France, en adhérant à l'AFPMA et en participant aux rencontres annuelles. Ce design, plus petit et compact, le rend plus accessible pour une installation par des auto-constructeurs et peut s'insérer dans de nombreuses habitations existantes. Après les analyses de combustion in-situ, nous avons même réalisé une thermographie infrarouge pour appréhender visuellement le déplacement du



front de chaleur à travers la masse du poêle. Aujourd'hui, grâce à Loïck (Enerlog), nous simulons l'évolution de la chaleur dans les fumées à l'aide de logiciels de calcul CFD⁵.



Dernier modèle (libre) de poêle fusée à inertie conçu et fabriqué par APALA ©.

Pour ce qui est de l'offre que nous avons proposée pendant presque cinq ans : nous nous sommes rapidement focalisés sur l'aide à l'auto-construction. Il nous paraît essentiel que ce type de solutions soient rendues plus accessibles qu'elles ne le sont aujourd'hui, en réduisant la part du coût et du temps de la main d'œuvre professionnelle. Et ce, sans pour autant favoriser l'amateurisme et les dangers qu'il implique, ni couper l'herbe sous le pied des professionnels. Là où notre proposition a été différenciante, c'est que nous avons intégré un prix en fonction du degré d'implication de l'utilisateur final. Plus son degré d'implication est élevé, plus le prix sera bas et tendra vers le prix des matériaux bruts. Mais il y a toujours un encadrement ou accompagnement, même minimal ; au-delà duquel un auto-constructeur pur peut s'inspirer de notre documentation (plans, modèle 3D, tutoriels) libre. Le but était de s'adapter à tous les profils: du bricoleur chevronné au débutant autodidacte. Nous proposons donc 3 formules :

Formule KIT : nous livrons l'ensemble des éléments du poêle, une notice de montage et un support technique mais nous ne participons pas au chantier.

Formule KIT + Aide partielle : En plus du kit de fabrication, nous intervenons une journée pour former au montage de la cloche. Nous expliquons, entre autres, comment découper et poser les premiers rangs de briques.

Formule KIT + Aide complète : Nous supervisons l'ensemble des étapes de la construction.

⁵ "Computational Fluid Dynamics" ou "mécanique (dynamique) des fluides numérique" en français, consiste "à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide". Extrait de la page dédiée sur Wikipédia : https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9canique_des_fluides_num%C3%A9rique





GRILLE TARIFAIRE Poêle Fusée à Inertie

à titre indicatif

Type	Puissance* 2 flambées / jour	Chargement bois	Formule	Base
150 (2 tonnes)	1,9 kW 3,7 kW max	6 kg bûchettes de 38 cm max	Kit	4800 €
			Kit + Aide partielle	5800 €
			Kit + Aide complète	sur devis
200 (2,5 tonnes)	4,4 kW 8,8 kW max	14 kg bûchettes de 50 cm max	Kit	6000 €
			Kit + Aide partielle	7000 €
			Kit + Aide complète	sur devis
250 (3 tonnes)	8,6 kW 17,1 kW max	28 kg bûchettes de 63 cm max	Kit	6500 €
			Kit + Aide partielle	7500 €
			Kit + Aide complète	sur devis
Options		Forfait		
Banc chauffant		+ 500 €	Intégration** (sur-mesure)	800 à 1200 €
Espace de stockage bois		+ 300 €	Finitions (enduit)	800 à 1200 €
Four intégré		+ 800 €		
Location scie à eau		40 € / jour		

* La puissance maximale renseignée correspond à 4 flambées par jour.
** Etude sur-mesure du design et de l'intégration du poêle à l'existant.

APALA ©

Sans faire vraiment de publicité, nous avons rapidement eu pas mal de sollicitations. Nous avons réalisé 5 chantiers sur cette formule puis il y a eu un coup d'arrêt. On avait de la demande, mais on mettait en risque l'association et ses membres du point de vue juridique, et ce n'était pas viable (on ne vendait pas assez cher, aux alentours de 3 500€). Les poêles et la méthode de construction adoptées n'étant pas certifiés ou normés, on se mettait en danger si jamais un accident survenait. A partir de ce moment, on a arrêté les chantiers et on a commencé à travailler sur la certification par les instances référentes de notre poêle et de notre parcours d'accompagnement à l'auto-construction. Notamment par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) pour la partie homologation du poêle ; qualifier son rendement, ses émissions, sa durabilité, et sa sécurité. Ce processus est encore en cours avec un dossier de demande de financement déposé à l'ADEME.



Annexe 2 : Détail des offres et impact des petits acteurs

Pour détailler les services et produits proposés dans le cadre des initiatives que porte APALA, reprenons la classification utilisée ci-dessus :



Serres-dômes en bois de récupération ou issu de la forêt de Rohanne en Pays Nantais, Option systèmes d'irrigation et d'aération contrôlés / automatisés par Arduino⁶ :

- Prestations de dimensionnement, conception, fabrication ou installation,
- Prestations d'accompagnement au dimensionnement, à la conception, la fabrication ou l'installation,
- Ventes de kits,
- Mise à disposition gratuite de plans et logiciels de dimensionnement,
- Prestations d'animation d'atelier autour du jardin, du potager, des semences,
- Accompagnement à la mise en place d'une grainothèque.

À destination des associations de quartier, des médiathèques, des collectivités, des établissements d'enseignement, etc.

Depuis 2018, 2 dômes ont été installés en chantier participatif ou prestation, à Nantes et à Plouhinec, environ 15 ateliers autour des semences et du jardinage soutenable ont été animés, et une centaine de personnes formées ou sensibilisées.

Objectifs à court-terme : amorcer la vente de dômes en kits et amorcer la production.



Chantier de Bellevue, pour le projet de la Petite Ferme Urbaine mené conjointement par l'association Riche Terre et Atlantique Habitations. D'une surface de 16 m² au sol, cet espace se veut solidaire, et dédié aux jeunes pour des projets. APALA ©



Alimentation soutenable (végétale) :

- R&D scientifique, production d'articles, rapports, présentation et infographies
- Prestations d'animation de buffets traiteurs,
- Ventes de plats préparés traiteurs,
- Prestations d'animation d'ateliers de cuisine,
- Ventes en pots ou en vrac d'Or Blanc⁷, alternative au parmesan fabriquée à partir de noix de cajou, et produit démonstrateur d'une alimentation soutenable végétale,
- Mise à disposition gratuite de recettes,

⁶ Contrôleur open source, très utilisé dans le milieu makers. Plus d'information sur le site : <https://www.arduino.cc/>

⁷ Plus d'information sur la page dédiée du site : <https://www.apala.fr/or-blanc/>



À destination des évènements et lieux dédiés à la transition, qu'ils soient grand public, privés, associatifs. Pour l'Or Blanc la cible est constituée des magasins et distributeurs qui partagent les valeurs du produit (transformé localement, à faible impact climatique, végétal, sain,, vrac, etc.).

Depuis 2014, une douzaine de prestations de service traiteurs et buffets soutenables ont été assurées.

Depuis 2018 l'Or Blanc est en dépôt vente chez les différents membres et sympathisants de l'association afin de "mailler le territoire" (à savoir sur Nantes, St Briec, et au-dessus de Landerneau dans le Finistère Nord), mais également auprès de 7 revendeurs sur Nantes : épicerie, traiteurs et restaurants spécialisés, magasin coopératif (Scopeli), même une antenne de Carrefour Market. Aujourd'hui la production "démonstratrice" s'élève à environ 2 kg/mois en pots et 12 kg/trimestres en vrac (à destination du magasin coopératif Scopeli, principal client).

Objectifs à court-terme : développer le réseau de distribution, et tester la capacité de production du modèle, générer un revenu.



Logo et conditionnement en pots en réemploi de l'Or Blanc. APALA ©



Velow Club : récupération de vélos par dons de particuliers, auprès de la Ville de Nantes, de la Poste, etc, réparation, remise en état, et mise à disposition :

- o Accompagnement gratuit au choix, à la réparation et à l'entretien de vélo,
- o Prêts longue durée de vélo remis à neuf, dépannage et entretien compris,
 - o Ventes de vélo remis en très bon état ,
 - o Mise à disposition gratuite de vélos (au sein d'un premier cercle de collaborateurs de l'association),

À destination des particuliers et associations partenaires d'APALA.

Depuis 2019, une trentaine de vélos ont été récupérés, une quinzaine remis à neuf et mis à disposition d'une vingtaine de bénéficiaires, membres de l'association ou proches collaborateurs ; des premiers essais de prêts longue durée sont en cours de réalisation.

Objectifs à court-terme : développer l'offre de prêts longue durée pour les individus ne souhaitant pas investir dans du neuf, et souhaitant bénéficier des services ou formations à l'entretien et au dépannage.





Solène, bénéficiaire du Velow Club. APALA ©



Briques de terre crue, compressées, et Murs à inertie composés des mêmes briques :

- Prestations de dimensionnement, conception, fabrication ou installation de murs,
- Ventes de murs en kits,
- Ventes de briques au détail,
- Prestations de formations théoriques et pratiques.

À destination des particuliers ou des acteurs économiques du territoire.

Depuis 2017, deux murs à inertie ont été dimensionnés et installés chez un thermicien.

Objectifs à court-terme : développer la vente de murs en kits, et les formations, éventuellement louer les machines de production de briques de terre crue compressées, pour pouvoir payer le loyer de l'atelier de production à l'Agroaute et rémunérer une partie d'un temps plein.



Mur à inertie en briques de terre crue compressées, construit derrière un poêle à bois et au milieu d'un atelier, pour améliorer le confort thermique. APALA ©



Annexe 3 : Interview pour Les Autres Possibles

Extrait de l'interview de Jonathan Guéguen, co-fondateur d'APALA, par Marie Bertin (Coordinatrice de la rédaction du magazine Les Autres Possibles), paru dans le numéro 21, en mai 2019⁸

APALA s'est d'abord penchée sur le problème du chauffage, en inventant le "Poêle Fusée à Inertie", avant de développer une recette de parmesan végétal... Vous avez eu faim en cours de route ?

Hé non ! Notre vocation, c'est de trouver des solutions techniques concrètes aux problématiques environnementales. Nous avons d'abord analysé quels étaient les principaux postes de dépense en énergie d'un individu : le chauffage représente plus de 60% de l'énergie consommée en France. D'où la mise au point d'un poêle de masse écologique performant. Mais, rapidement, on a réalisé que du point de vue de l'empreinte carbone globale d'une personne, si l'on prend en compte l'ensemble des cycles de production, l'alimentation est le premier responsable ! [...] On s'est donc mis à travailler à des solutions low-tech dans ce domaine : le parmesan végétal en est une !

[...]

Vous vous basez sur de nombreuses données chiffrées. Mais dans le domaine des études d'impact, les modes de calculs font polémiques...

Même en critiquant les études, on peut s'accorder sur le fait que l'impact du produit animal prévaut sur son équivalent végétal. Exemple : 100 g de parmesan végétal fait avec des noix de cajou, c'est environ 60% d'équivalent CO2 en moins que 100 g d'emmental bio et local. Idem pour la consommation en eau.⁹

Si l'on vous suit : le lait, les oeufs, ont donc aussi un impact fort. Pourtant, vous parlez d'alimentation végétale, et non végane, pourquoi ?

On préfère parler de végétal parce que notre entrée sur le sujet est scientifique, et non morale. Or, dès que l'on parle de véganisme, on renvoie au débat éthique. Nous ne sommes pas des prescripteurs de conscience. Nos recherches servent à comparer les impacts des différents aliments, et à en informer le public. Une action a forcément un impact. Notre question de départ est : concernant l'alimentation, quel impact est soutenable pour la planète ? Selon nous, une action est soutenable si elle est généralisable : est-ce que si nous le faisons tous, l'environnement pourrait le supporter ?

Nos choix alimentaires ont aussi des conséquences sociales. Que répondez-vous aux éleveurs qui défendent leur savoir-faire ?

On comprend les éleveurs. Mais on pense que mettre l'accent sur le végétal est aussi une solution pour eux. Selon nous, le modèle actuel de l'élevage est hautement déperditif : la dépense énergétique est énorme par rapport à celle produite. L'élevage ne nous fournirait que 37% des protéines et 18% des calories que nous consommons(3). Par ailleurs, beaucoup d'éleveurs sont en dessous des minima sociaux. Ils ont le taux de suicide le plus élevé par catégorie socioprofessionnelle. Pourquoi vouloir continuer comme ça, de toute façon ? Bref, pour sortir les éleveurs de leur situation, selon moi, il faut les aider à

⁸ Article complet disponible sur le site d'Apala : <https://www.apala.fr/alimentation-soutenable-entretien-avec-le-map/> Plus d'information sur le numéro 21 "Alimentation durable" sur le site des Autres Possibles : https://lesautrespossibles.fr/numero_du_mois/21-alimentation-durable/

⁹ vu qu'il n'y a pas de parmesan dans la base de l'écocalculateur développé par ECO2 Initiative pour l'association Bon pour le climat, il a choisi le fromage à pâte dure type emmental pour le comparer à l'Or Blanc Plus d'information sur la page : <https://www.apala.fr/or-blanc/>



prendre un virage et, pourquoi pas, à devenir transformateurs : produire davantage de protéines végétales (légumineuses en tous genres) et participer à leur transformation.

Quelles sont vos solutions low-tech pour faciliter l'évolution de nos pratiques alimentaires ?

On a interrogé les gens : le frein numéro 1 pour la majorité, c'est la cuisine. *"D'accord, mais j'ai pas l'intention de passer des heures en cuisine, etc."* Autrement dit, ce qu'il nous faut, c'est réapprendre à cuisiner certains aliments et des idées de recettes simples et bonnes ! En plus d'élaborer et de partager des recettes, APALA organise des buffets soutenables et des ateliers de cuisine.



Annexe 4 : Fiche technique du capteur à air-chaud

Principe général de fonctionnement (à partir des travaux du Low-tech Lab, tutoriel et rapport)

Contexte

En France, 45 % de l'énergie consommée sur le territoire l'est au sein des bâtiments¹⁰ (en 2019, le résidentiel représentait deux tiers de cette consommation, le tertiaire un tiers¹¹), et au sein de ces bâtiments, le chauffage – besoin essentiel s'il en est un sous de nombreuses latitudes et notamment en France – représentait en 2016 encore 66 % de la consommation énergétique des résidences principales¹². À noter que, même si cela en fait un poste de dépense énergétique important à l'échelle des leviers individuels directement actionnables – en changeant de système de chauffage par exemple ! –, en ordre de grandeur le chauffage de l'habitat ne représente que 12 % de l'empreinte énergétique totale moyenne d'un français¹³.

Pour autant, étant donné que la majorité de l'énergie consommée pour chauffer l'habitat est d'origine fossile (en 2018, 57 % de cette chaleur est obtenue par combustion de fioul domestique, de gaz de pétrole liquéfié ou de gaz naturel, ou encore de charbon et de pétrole pour les quelques réseaux de chaleur urbain concernés¹⁴, et 12 % par chauffage électrique, autrement dit largement nucléaire en France), l'usage d'énergie renouvelable pour ce poste de consommation énergétique peut représenter une réduction significative de l'impact environnemental de chacun et chacune ; et ce sans même parler

¹⁰ D'après le Bilan énergétique de la France pour 2018, réalisé par le Commissariat général au développement durable, cité par l'ADEME dans son dossier / article "L'énergie en France" publiée en septembre 2020 ; plus d'information sur la page dédiée du site de l'ADEME : <https://agirpoulatransition.ademe.fr/particuliers/lenergie-france>

À noter qu'il s'agit bien là "d'énergie finale consommée en France" c'est-à-dire d'énergie dont le consommateur final est le citoyen français, sur le territoire national, en termes techniques il s'agit bien du "bilan énergétique" et non pas de "l'empreinte énergétique" française – ou pour parler d'impact sur le réchauffement climatique, du "bilan carbone" et non pas de "l'empreinte carbone", au sens de l'ONG Global Footprint Network. Ces chiffres ne prennent donc pas en considération les consommations d'énergies (ou l'impact sur le changement climatique associé) importées par les français, sous forme de produits ou de services. Pour ordre de grandeur, "selon le rapport du Haut Conseil pour le Climat de 2019, tandis que le bilan carbone français a diminué depuis 1995, passant de 9 tonnes équivalent carbone par habitant et par an en 1995, à moins de 7 t_{eq CO2} en 2017, l'empreinte carbone des Français a augmenté de 20 % entre 1995 et 2015 : « les émissions nettes importées représentent 60 % des émissions nationales en 2015 [...] et s'ajoutent à elles pour former l'empreinte carbone du pays », pour finalement donner une empreinte carbone moyenne des Français en 2015 à 11,6 t_{eq CO2}, d'après un calcul détaillé, présenté dans le journal *Les Échos*, et disponible sur la page dédiée du blog Ravijen : <http://ravijen.fr/?p=440> Cet article distingue particulièrement bien empreinte et bilan carbone. En complément, plus d'information et surtout d'outils de calcul d'empreinte sur le site du Global Footprint Network : <https://www.footprintnetwork.org/> et la tribune du New York Times sur le concept d'empreinte : <https://www.nytimes.com/2008/02/17/magazine/17wwln-safire-t.html> ; la citation du rapport du haut conseil pour le climat est tiré de la page Wikipédia dédiée à l'empreinte carbone : https://fr.wikipedia.org/wiki/ Empreinte_carbone

¹¹ D'après les chiffres du ministère de la transition écologique concernant la consommation d'énergie dans le tertiaire, disponibles sur la page suivante du site "données et études statistiques" : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-tertiaire> et du résidentiel, disponibles sur la page correspondante du même site : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel>

¹² D'après les "Chiffres-clés Climat Air et Energie" du CEREN pour 2016, publiés en 2018 par l'ADEME et cités dans le même dossier "L'énergie en France" : <https://agirpoulatransition.ademe.fr/particuliers/lenergie-france>

¹³ En effet, en première approximation le chauffage des résidences principales représente en 2016 : 66% (de l'énergie consommée à la maison, en négligeant celle des résidences non principales), de 66% (part du résidentiel dans la consommation énergétique des bâtiments), de 45% (part du bâti dans le bilan énergétique français) de 7 t_{eq CO2} par habitant en 2017 = 1,4 t_{eq CO2} en moyenne par habitant et par an ; à ramener aux 11,6 t_{eq CO2} de l'empreinte moyenne d'un français en 2015, ou aux dernières estimations l'OFCE et de l'ADEME évaluant en janvier 2020 l'empreinte carbone totale de la France à 10,5 t_{eq CO2} par habitant, dont 47 % provenant des émissions importées (alors qu'elles étaient de 40 % en 2015), d'après la page Wikipédia dédiée à l'empreinte carbone : https://fr.wikipedia.org/wiki/ Empreinte_carbone

¹⁴ En négligeant la part carbonée de l'électricité française, et d'autres sources d'énergies négligeables en ordre de grandeur, d'après les statistiques de la "consommation d'énergie par usage du résidentiel" publiées en 2019 sur le site "données et études statistiques" du ministère de la transition écologique, disponibles sur la page dédiée : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-residentiel>, en 2018 : sur 282 TWh consommés pour le chauffage de résidences principales, on compte 117 TWh de gaz naturel, 36 TWh de fioul, 3 TWh de GPL, et 13 TWh consommés de réseaux urbains, sachant qu'en 2018 43,6 % de cette chaleur était aussi produite à partir d'énergie fossile en France (chiffres issus des données de l'Agence Internationale de l'Énergie, cités dans la partie dédiée aux réseaux de chaleur de la page Wikipédia sur "l'énergie en France" : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_en_France#R%C3%A9seaux_de_chaleur).



de rénovation thermique et énergétique des bâtiments existants. Par ailleurs – comme souvent pour ce qui touche à l'énergie –, le chauffage est aussi un des postes de dépenses les plus importants des ménages, et un enjeu social et économique autant qu'environnemental ou climatique : avant la crise du Coronavirus le chauffage représentait 14 % du budget des français, et 1 français sur 5 était en situation de précarité énergétique¹⁵.

Il se trouve que l'énergie solaire est une énergie gratuite et intermittente, qu'il est relativement simple d'utiliser directement pour chauffer efficacement l'air de l'habitat, avec un rendement pouvant rapidement dépasser 60 % (de 4 à 5 fois supérieur à celui du photovoltaïque, l'autre usage énergétique des rayons du Soleil). En effet, le Soleil transmet de l'énergie à la terre par rayonnement. À l'équateur, le rayonnement atteint la puissance d'environ 1 000 W/m². Ce qui équivaut à la puissance d'un petit chauffage électrique.

À noter que la quantité d'énergie solaire disponible dépend de nombreux facteurs tels que la puissance maximale par m², l'angle du soleil par rapport au lieu, la ligne d'horizon, l'orientation des panneaux, etc.¹⁶ mais qu'une installation solaire thermique bien dimensionnée, bien orientée et bien inclinée reste intéressante dans la plupart des régions de France¹⁷.

Le capteur à air

Le principe du "panneau solaire" de Guy Isabel (inspiré du mur Trombe inventé par Félix Trombe dans les années 1950) est donc de réussir à transformer le rayonnement solaire en chaleur grâce à un corps noir¹⁸, capable d'emmagasiner la chaleur (par exemple le goudron, très chaud l'été, ou encore le tableau de bord d'une voiture garée en plein soleil). Pour l'habitat, les systèmes les plus répandus qui utilisent le même principe sont les chauffe-eaux solaires, souvent installés sur les pentes de toits pour réchauffer l'eau chaude sanitaire en compléments de systèmes thermiques plus classiques et moins dépendants des aléas météorologiques. Moins connu, le capteur à air permet de réchauffer l'air d'une pièce, par exemple en utilisant l'ardoise comme corps noir.

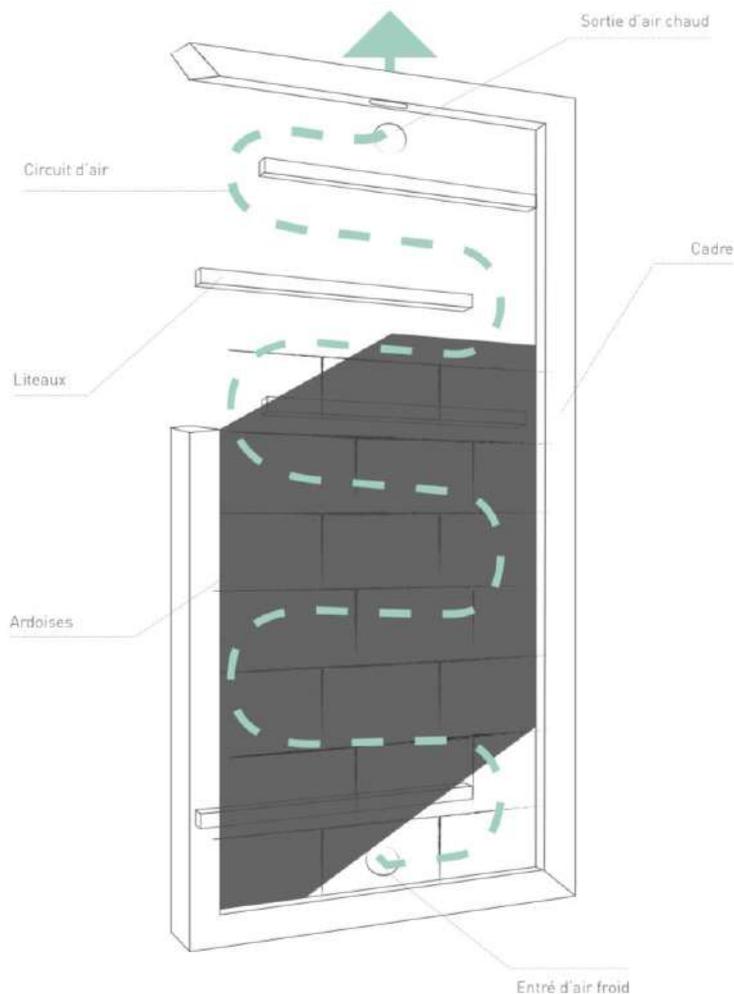
¹⁵ Plus de chiffres sur le chauffage en France dans l'article du Figaro Immobilier de janvier 2017 : https://immobilier.lefigaro.fr/article/les-francais-et-le-chauffage-ces-cinq-chiffres-a-retenir_a1df9d1a-d3e2-11e6-89bf-777adbd27c0b/

¹⁶ Les sites Ptaff.ca, ou bien les outils de l'Union Européenne, ou encore les quelques données libres de l'acteur privé Solar GIS, sont utiles pour déterminer ces paramètres quelques soit le lieu d'implantation du capteur : <http://ptaff.ca/soleil/> ; https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/tools.html ; <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download>

¹⁷ Pour une meilleure idée du potentiel de l'énergie solaire directe en France et ailleurs dans le monde, voir les parties dédiées de l'étude de cas produite lors de la seconde enquête du Low-tech Lab, auprès de NeoLoco et Solar Fire, notamment "Réglages et utilisation du four solaire"

¹⁸ Plus d'information sur la page Wikipédia dédiée aux corps noirs : https://fr.wikipedia.org/wiki/Corps_noir





*Schéma de principe du capteur à air-chaud du Low-tech Lab,
inspiré par les travaux de Guy Isabel, Low-tech Lab / Camille Duband ©*

D'après les estimations et mesures du Low-tech Lab, un capteur de 2 m² de cette conception, permet de réchauffer l'air d'une pièce de 10 à 15 m² de 5 à 7°C l'hiver en moyenne, pour la France. D'après les calculs de Loïck, une orientation du capteur plein sud permet de tirer un maximum d'énergie sur la période de chauffage. Installé en complément d'un second moyen de chauffage, il permet d'économiser près de 650 kWh sur l'ensemble de l'année. C'est un complément au système de chauffage classique, qui permet d'appréciables économies financières et écologiques. D'un coût d'autant plus limité qu'il emploie des matières issues de filières de dépose, collecte, tri et revalorisation, il est rapidement amorti¹⁹.

¹⁹ Plus spécifiquement, dans l'hypothèse où le capteur autorise 25 % d'économies sur l'année, complété par un chauffage électrique et dans les hypothèses générales de calcul du rapport de l'Habitat low-tech du Low-tech Lab, il est rentabilisé au bout de 5 ans comparé au coût du chauffage équivalent en tout électrique, si l'emploi de matériaux de récupération a permis de réduire son coût à 214 € ; s'il coûte encore 338 € (hypothèse d'achat neuf des matières premières constituant le modèle du Low-tech Lab), c'est au bout de 10 ans qu'il est plus intéressant économiquement que le chauffage électrique d'origine. Plus de précision dans le rapport d'expérimentation en question consultable en ligne sur le site du Low-tech Lab : <https://lowtechlab.org/assets/files/rapport-experimentation-habitat-low-tech-low-tech-lab.pdf>



Principe

En hiver, le capteur aspire l'air de l'habitat par le bas, le chauffe grâce au soleil rasant, puis le restitue à l'habitat par la sortie haute, à une température pouvant atteindre 70°C localement (sans risque réel de brûlure puis qu'il est instantanément dilué dans l'atmosphère ambiante).

En été, une trappe extérieure sur le dessus du panneau permet de rejeter l'air chaud du capteur dehors en aspirant par la même occasion l'air de l'habitat, créant ainsi une ventilation naturelle.

Conclusion

Le chauffage solaire aérothermique stocke l'énergie solaire et la restitue à l'habitat de façon autonome et plus ou moins passive. Cette solution écologique permet de réduire la part d'énergie utilisée pour le chauffage de l'habitat et de chasser l'humidité.

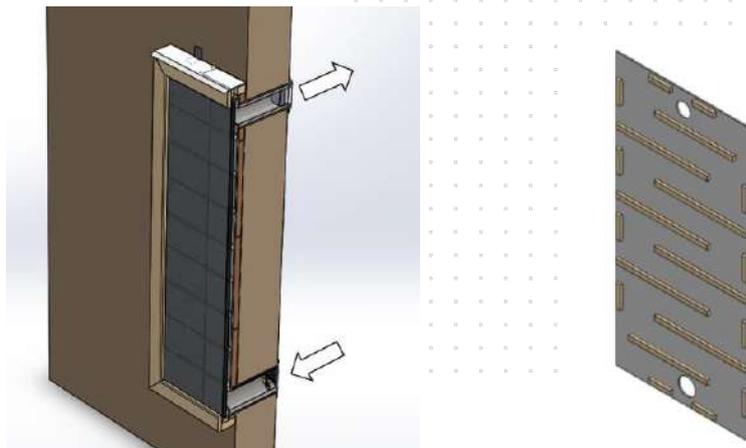
Détail du modèle technique d'Enerlog



Capteur à air chaud Enerlog installé sur le mur Sud d'une maison secondaire ; la "grille" visible dans le coin inférieur gauche du système n'est en réalité que le petit panneau solaire photovoltaïque qui alimente en électricité le système de contrôle électronique (clapet et ventilateur). Enerlog ©



Généralités



*Vue en coupe verticale du chauffage solaire - vue isolée du circuit d'air en chicanes
Enerlog ©*

Le système est simple sur le papier :

1. Un cadre en bois isolé dans le fond dans lequel on fait un trou en bas et un trou en haut.
2. Un circuit d'air composé de latte de bois en quinconce,
3. Devant le circuit d'air, une façade d'ardoise derrière une vitre qui sert d'absorbeur de chaleur et qui échange cette chaleur avec l'air.
4. L'air à température ambiante de l'habitat rentre en bas dans le cadre et monte en chauffant et ressort dans l'habitat à une température chaude.

Son fonctionnement est simple et peut se résumer en 4 temps :

1. Le rayonnement du soleil permet de faire monter des ardoises en température grâce à un effet de serre généré par la vitre et l'air statique ;
2. De l'air est prélevé au sein de l'habitat puis injecté dans le bas du panneau entre la plaque de bois et les ardoises ;
3. L'air en mouvement se réchauffe au contact des ardoises ;
4. En haut du panneau, l'air en mouvement est réinjecté dans l'habitat à des températures pouvant avoisiner les 70°C.

Régulation électronique du chauffage solaire

Comme détaillé dans la partie intitulée “le cas de la circulation forcée de l'air dans le capteur à air chaud” [page XX](#), l'une des principales revues de conception du modèle du Low-tech Lab, est le fait que la circulation de l'air de l'habitat à l'intérieur du chauffage solaire (appelé “lame d'air dynamique” distinct de la “lame d'air statique” qui se trouve entre la vitre et les ardoises) est “poussée”, ou forcée, par un ventilateur électrique intégré au dispositif et piloté par un contrôleur open source (de type Arduino²⁰). L'ensemble de ce système électronique peut être alimenté par un panneau photovoltaïque installé sur l'extérieur du panneau (puisque'il n'a a priori besoin de fonctionner que quand le Soleil tape sur le capteur), ou par une alimentation secteur à l'intérieur de l'habitat. À noter que, le fonctionnement étant alors conditionné à la mise sous tension du réseau, c'est une option plus adaptée aux résidences principales.

²⁰ marque d'une plateforme de prototypage open-source basée sur une interface entrée/sortie simple, qui permet aux utilisateurs de créer des objets électroniques interactifs à partir de cartes électroniques matériellement libres dont les schémas électroniques sont publiés en licence libre. Cependant, certaines composantes, comme le microcontrôleur par exemple, ne sont pas sous licence libre. Plus d'information sur la page Wikipédia dédiée à Arduino : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino>



Tandis qu'un fonctionnement par alimentation électrique par panneau photovoltaïque hors réseau, maintient le système performant dans une résidence secondaire même lorsque le réseau électrique est hors tension.

Pour rappel, cette modification majeure est motivée par la perspective de significativement améliorer la quantité d'énergie transmise à l'air de l'habitat. En effet, dans la démonstration réalisée sur le wiki d'Enerlog (et rapportée dans la partie citée précédemment), il apparaît maladroit de ne mesurer l'efficacité du système qu'à la température de sortie du chauffage puisque dans une configuration théorique donnée : un air à une température de 70 °C pulsé à un débit de 10 m³/h apporte une puissance thermique de 173 W, tandis qu'un air de 35 °C pulsé à 150 m³/h apporte une puissance de 943 W, plus proche de celle d'un radiateur électrique. Le potentiel d'énergie thermique amené dans l'habitat est donc plus de 5 fois supérieur dans le cas du système à circulation forcée. Pour rappel cet impact sur le rendement du système autorise un dimensionnement nettement inférieur pour répondre au même besoin, donc in fine moins de poids, de matières, de ressources, d'énergies. À noter qu'une telle circulation forcée à partir de 25 °C évite à l'air dynamique de trop monter en température, et réduit donc les risques de surchauffe du système, voire de brûlure au contact d'un air possiblement à 70 °C à son retour dans l'habitat.

Le second phénomène contrôlé par l'Arduino est la fermeture du clapet empêchant le retour de l'air dans l'habitat par le haut du capteur, lorsque l'air qui le parcourt est à une température trop basse pour chauffer l'air de l'habitat. Un simple capteur de température associé au bon programme informatique dans le contrôleur, permet d'automatiser l'ouverture du clapet quand la température à l'intérieur du capteur dépasse les 25 °C et sa fermeture en dessous de cette température. Autrement dit : "le ventilateur situé en bas peut être programmé pour se déclencher à une certaine température et le clapet situé en haut s'ouvre à cette même température. En dessous de cette température les deux se ferment"²¹. À noter que la version du Low-tech Lab comprend également un système de régulation automatique du capteur, plus passif que celui d'Enerlog : c'est "un vérin thermostatique [qui contrôle le clapet et] permet de gérer automatiquement et sans électricité, l'ouverture de la circulation d'air, seulement quand celui-ci a atteint plus de 25°C dans le capteur"²².

Par ailleurs, le modèle d'Enerlog intègre une casquette sur le dessus du panneau qui participe — en plus de la trappe supérieure qui, quand elle est ouverte, laisse l'air chaud s'échapper du capteur — à éviter que le système ne surchauffe en été, en réduisant le rayonnement solaire au zénith, sans réduire la captation des rayons rasants du Soleil en hiver.

Éco-conception

Choix des matériaux

L'autre principale revue de conception concerne le remplacement de certains matériaux, justifiés par l'objectif de réduction de l'impact environnemental du système. Pour en juger, Enerlog compare les différents matériaux possibles en équivalent énergie grise²³, et à l'aide des données d'Analyse de Cycle

²¹ Extrait de l'article de Frédéric Pradel, artisan menuisier indépendant (plus d'information sur son site <http://dependances-bois.fr/>), résumant la formation d'Enerlog à laquelle il a participé en janvier 2021 sur la plateforme de partage de connaissance autour du travail du bois L'air du Bois, disponible dans la partie blog de la plateforme : <https://www.lairdubois.fr/creations/15772-un-chauffage-solaire-a-air-mais-surtout-une-belle-demonstration-de-collectif.html>

²² Cependant le retour d'expérience de Clément Chabot et Pierre-Alain Lévêque, à la tête de l'expérimentation du Low-tech Lab autour de l'habitat low-tech, n'est pas unanime quant à l'efficacité de ce type de vérins thermostatiques.

²³ "L'énergie grise désigne la quantité d'énergie consommée lors du cycle de vie d'un matériau ou d'un produit : la production, l'extraction, la transformation, la fabrication, le transport, la mise en œuvre, l'entretien et enfin le recyclage, à l'exception notable de l'utilisation. L'énergie grise est en effet une énergie cachée, indirecte, au contraire de l'énergie liée à l'utilisation, que le consommateur connaît, ou peut connaître aisément. Chacune des étapes mentionnées nécessite de l'énergie, qu'elle soit humaine, animale, électrique, thermique ou autre. En cumulant l'ensemble des énergies consommées sur l'ensemble du cycle de



de Vie (ACV²⁴) disponibles auprès de différentes sources²⁵. En réalisant cette étude d'impact environnemental, Loïck a notamment confirmé la pertinence de l'emploi du bois en lieu et place de l'aluminium pour le cadre – et ce même si le métal est bien plus léger que le bois. Mais surtout Loïck s'est intéressé au principal poste d'impact mis en lumière dans l'ACV réalisée par l'équipe du Low-tech Lab (dans le même rapport d'expérimentation autour de l'Habitat Low-tech) : la vitre en verre. Il a donc comparé l'énergie grise du verre avec celle de matières alternatives, comme le polycarbonate ; les résultats sont significatifs :

“Le polycarbonate présente l'avantage d'être plus léger (1,6 kg) et moins cher. Une vitre de 2 m² et d'épaisseur de 4 mm peut se trouver pour environ 20 €. [De plus,] comme le polycarbonate est souple, il ne présente pas de risque de cassure et diminue le risque d'accidents dû à un transport ou à un choc thermique. L'énergie grise d'une vitre en polycarbonate est de 31 600 kWh/tonne, soit 50,5 kWh pour la vitre en question. Alors que dans le cas d'une vitre en verre, il doit être trempé afin de pouvoir résister à de fortes différences de température. La vitre en verre est également plus lourde : environ 20 kg pour une vitre de 2 m², et de 4 mm d'épaisseur. L'énergie grise d'une vitre peut varier. Les ordres de grandeur disponibles et partagés sont de 3 875 kWh/tonne pour du verre classique et de 7 270 kWh/tonne pour du verre trempé. L'énergie grise d'une vitre en verre non-trempé serait de 77,5 kWh, et de 145 kWh pour du verre trempé. D'après la base de données ELCD (European Life Cycle Database), la production de fibre de verre nécessite 8 377 kWh/tonne soit 167 kWh pour l'équivalent de la vitre en question dans cette matière.”

“Pour autant ! Selon Loïck les 100 kWh d'écart entre le polycarbonate et le verre trempé ne justifient pas selon lui le fait d'utiliser du polycarbonate car le coefficient de transmissivité²⁶ (et donc le rendement) est diminué de l'ordre de 15 à 20% dans le cas du polycarbonate. Il estime que le fait d'utiliser du verre trempé est rattrapé par le gain d'énergie produite à l'usage – de l'ordre aussi de 100 kWh de différence en un ou deux ans.”

Donc aujourd'hui c'est surtout pour des raisons de sécurité durant les stages, de prix et de facilité d'approvisionnement que Loïck a opté pour le polycarbonate, en attendant de trouver mieux, ou faute de mieux dans l'absolu.

Choix d'approvisionnement

Dans le but de réduire encore l'impact environnemental des capteurs air-chaud Loïck tend également à s'approvisionner en matériaux et matières premières auprès de filières les plus locales possibles, et si possible de filières de réemploi et réutilisation²⁷. C'est également ce qu'Enerlog encourage les auto-constructeurs à faire :

vie, on peut prendre la mesure du besoin énergétique d'un bien. L'affichage de l'énergie grise peut guider ou renseigner les choix d'achats, notamment en vue de réduire l'impact environnemental.” D'après la page Wikipédia dédiée à l'énergie grise :

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_grise

²⁴ Méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère et multi-étape d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie. Plus d'information sur la page Wikipédia dédiée à la démarche et aux outils de l'ACV : https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_du_cycle_de_vie

²⁵ Plus d'information sur la démarche d'éco-conception et le choix des matériaux du capteur à air-chaud, sur la page dédiée du wiki d'Enerlog : https://wiki.enerlog.fr/doku.php?id=espace_public:materiaux_csa

²⁶ lié à la transparence aux rayons du Soleil.

²⁷ En effet “le réemploi et la réutilisation contribuent au prolongement de la durée de vie des produits, participent à l'économie circulaire et à la réduction de la production des déchets” d'après la page dédiée du site de l'ADEME :

<https://www.ademe.fr/expertises/dechets/passer-a-l'action/eviter-production-dechets/reemploi-reutilisation>

Si certaines interprétations de l'économie circulaire ne sont pas plus durables que l'économie linéaire, notamment celle qui repose entièrement sur le *recyclage* – parce que la plupart des matières perdent en qualité et des propriétés lorsqu'elles sont recyclées, parce qu'il y a toujours une partie de matière qui est perdue, par usure, ou au cours du processus de recyclage, et



“L'ensemble des produits [nécessaires à la fabrication du capteur à air chaud d'Enerlog] peuvent se trouver auprès de distributeurs professionnels qui sont loin d'être exemplaires et l'approvisionnement des pièces peut-être source de pollution. Mais de nombreuses pièces peuvent d'ores et déjà être approvisionnées : en recyclerie de matière premières ou sur des sites en ligne de récupération de matériaux, auprès d'artisans ou d'associations locales qui visent à recycler des matériaux, au fond de [son] garage ou de celui de ses proches. [Cela doit nous inviter] à faire tourner l'économie locale !” En tous les cas Enerlog s'inscrit dans cette philosophie, la conception du chauffage solaire le permet, et cette démarche permet d'en diminuer les coûts : Loïck estime “à environ 185 € les économies possibles en faisant de la récupération”, soit plus de la moitié du coût en matériaux neuf d'un capteur à air chaud (estimée entre 320 et 370 € selon les fournisseurs). Il estime également qu'il est “possible de réaliser un chauffage solaire complètement passif et sans ventilation pour 80€ de moins mais [a priori] cette économie n'a pas de sens sur le long terme, car la pose d'un système de ventilation sera amortie en moins d'un an par l'économie d'énergie réalisée.”

À noter également qu'il n'est pas possible pour les participants de ramener des matériaux liés à la réalisation du boîtier électronique car Enerlog le réalise en amont du stage. Son coût est fixé à un tarif de 270€, et il est intégré au prix de vente final du panneau.

Usage

Du point de vue de l'utilisateur, les capteurs à air chaud et en particulier les modèles d'Enerlog, sont très peu contraignants.

Fonctionnement journalier

En effet, comme évoqué dans la fiche technique sur le chauffe-air solaire, en **annexe X, page YY**, l'usage d'un tel système est automatisé au quotidien. Pendant la période de l'année où le chauffage solaire fonctionne en régime “normal” : le panneau est “hors-service” la nuit. Le petit panneau photovoltaïque ne recevant aucun rayon du Soleil, il ne produit pas d'électricité, et n'alimente pas le système électronique de ventilation/régulation qui ne “tourne” pas. À partir du moment où le panneau est irradié²⁸ – plus ou moins tôt dans la journée suivant l'orientation du capteur choisie lors de son installation²⁹ – et dès que la température derrière les ardoises dépasse par exemple les 25 °C, le système électronique s'actionne, le ventilateur pulse l'air intérieur de l'habitat dans le panneau et accélère la circulation de cette lame d'air dynamique au contact des ardoises, jusqu'à revenir chauffé entre 25 °C et 70 °C à l'intérieur de l'habitat, par la sortie du circuit à l'intérieur du capteur, dont le clapet ouvert. En fin de journée, lorsque le panneau est à l'ombre et l'air qui circule à l'intérieur retombe en température, l'habitat est a priori chaud d'une journée entière de fonctionnement, et le système de régulation arrête le ventilateur, ferme le clapet pour éviter de refroidir l'air de l'habitat. Sous ce régime de fonctionnement

parce que dans un monde où la production de biens est croissante, il n'y a (mathématiquement) jamais assez de déchets revalorisés ou de matière recyclée pour assurer l'approvisionnement de toute la production –, le fait de donner une seconde vie à un produit ou des matériaux divise d'autant l'énergie grise associée à chaque nouvelle utilisation ; selon certaines méthodes de calcul, l'énergie grise d'une matière réutilisée est nulle, puisqu'elle a déjà été “comptabilisée”, ou “imputée” à son premier emploi, celui qui était visé lors de son extraction, transformation, mise en œuvre, etc. Plus de précision à ce sujet dans le livre “L'Âge des low-tech, Vers une civilisation techniquement soutenable” de Philippe Bihouix, paru en 2014 dans la collection Anthropocène des éditions du Seuil : <https://www.seuil.com/ouvrage/l-age-des-low-tech-philippe-bihouix/9782021160727>

²⁸ volontairement ou involontairement exposé à l'action de certains rayonnements – en l'occurrence ceux du Soleil –, d'après le CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales).

²⁹ C'est l'un des enseignements de l'expérimentation sur l'habitat low-tech menée au sein du Low-tech Lab : il peut être intéressant d'installer un capteur à air chaud sur la face Sud-Est voire Est de son habitat (suivant le caractère dégagé du lieu), pour qu'en hiver le système commence à chauffer dès les premiers rayons du Soleil. Le panneau installé plein Sud ne commencera à chauffer que tard dans la matinée.



aucune intervention de l'utilisateur n'est nécessaire. Éventuellement, s'il le souhaite, il peut manuellement réguler l'arrivée d'air chaud dans l'habitat en jouant sur l'ouverture du clapet supérieur.

Fonctionnement saisonnier

En dehors de la maintenance (nettoyage occasionnel de la vitre et des grilles des entrées / sorties d'air), le capteur à air chaud d'Enerlog ne nécessite d'intervention qu'au changement de saison :

en configuration été

- la trappe supérieure du capteur est ouverte, évitant à la lame d'air statique de surchauffer par effet de serre entre la vitre et les ardoises ; elle peut aussi ouvrir sur l'extérieur la lame d'air dynamique qui circule derrière les ardoises,
- le clapet de retour d'air chaud dans l'habitat est maintenu fermé, tandis que l'arrivée d'air de l'habitat dans le panneau peut être maintenue ouverte, et le système de ventilation éventuellement actif, pour faire – continuellement ou ponctuellement (lorsque la température à l'intérieur dépasse un certain seuil par exemple) – sortir de l'air chaud de l'habitat vers l'extérieur par la trappe supérieure laissée ouverte dans cette configuration ; le système sert alors de climatisation,
- également, les nuits d'été, le système peut éventuellement servir à rafraîchir l'air de l'habitat en le faisant circuler à l'extérieur, du bâti, dans le panneau ; cela n'est possible qu'une fois les ardoises refroidies, et dans le cas où la régulation électronique est alimentée par le courant du secteur, plutôt qu'en direct sur le petit panneau photovoltaïque (puisque'il n'est alors pas alimenté la nuit, ou lorsque le Soleil ne tape pas sur le PV).

en configuration hiver

- la trappe supérieure du capteur est fermée, pour maximiser la montée en température à l'intérieur du panneau,
- le clapet de retour d'air chaud dans l'habitat est contrôlé par l'Arduino, par exemple programmé pour être ouvert quand il fait plus de 25°C dans le capteur,
- le système sert alors de chauffage.

À noter que suivant les régions (variations de température et niveau d'ensoleillement) l'utilité du chauffe-air solaire ne couvre pas les mêmes périodes de fonctionnement, et les changements de configuration ne sont pas au même moment de l'année. À l'extrême on peut très bien imaginer des zones du globe ou de France, où ce type de systèmes chauffe toute l'année et est en cela utile aux habitants du logement équipé – ou bien l'inverse, des régions où ce type de chauffage n'a aucune utilité, à part peut-être un modèle de climatisation solaire pensé exactement sur le même principe et les mêmes choix de conception.

Avantages / inconvénients

Par rapport à un chauffage électrique, au bois ou au gaz, ce chauffage présente le gros avantage de ne pas consommer de ressources fossiles et donc d'avoir un impact sur l'environnement qui se limite à sa construction, et au recyclage en fin de vie du panneau. Le choix des principaux matériaux le constituant (ardoise, bois, etc.) permettra à terme d'augmenter la recyclabilité du panneau.

Un second avantage du chauffage solaire aérothermique est que celui-ci ne nécessite pas la présence de l'utilisateur pour chauffer l'habitat contrairement aux poêles à bois. Installé dans une maison secondaire, il peut ainsi empêcher le développement d'humidité dans l'habitat. En particulier, le modèle développé



par Enerlog, muni de son automate et de ses contrôleurs, réduit encore le nombre d'interactions entre l'utilisateur et le système de chauffage.



Annexe 5 : Retours des premiers bénéficiaires

Jean-Paul, utilisateur du 1^{er} prototype de panneau de 2 m², installé par Loïck à l'hiver 2020

Sur une petite maison secondaire d'environ 60 m² au sol, et dans l'objectif d'éviter le hors-gel et l'accumulation d'humidité dans la maison, quand elle reste vide et inhabitée plusieurs jours d'affilée. Résultat – et même si cette installation a été de paire avec un passage au double-vitrage et l'investissement dans un petit poêle à bois –, lui et sa femme constatent “une nette amélioration du ressenti de confort thermique et d'hygiène à l'intérieur de l'habitat”. Pour repère, en tant que “premiers cobayes” ils n'ont rien eu à déboursier pour cette installation et Loïck en assure encore aujourd'hui le suivi et la maintenance sans compter ; il considère l'installation comme expérimentale, s'en sert pour réaliser un certain nombre de mesures, et se positionne plus comme un chercheur face à son expérience que comme un artisan face à sa prestation. Jean-Paul n'a éventuellement qu'une opération à réaliser : l'allumage ou l'extinction du système à la mi-saison (un simple interrupteur on/off). Tous les deux prévoient de faire ensemble le bilan économique complet du projet de rénovation et d'équipement en chauffage solaire, à partir du moment où une première année d'utilisation sera passée, autrement dit en mars-avril 2021.

Rosine, participante au (second) stage, organisé par Hameaux Légers à l'hiver 2021

Ayant choisi de repartir avec un modèle de capteur air-chaud adapté à son besoin, en l'occurrence l'assainissement (odeurs et humidité) et le maintien hors-gel d'un espace bar (ERP - Établissement Recevant du Public) de 80 m², qu'elle ne tient et ne chauffe que les week-end d'hiver (avant sa participation au stage à l'aide d'une chaudière au fioul).

Pour repère, les tarifs spécifiques proposés dans le cadre de cette formation co-organisée et accueillie par Hameaux Légers dans leur “Kertier Général”³⁰, étaient :

- de 380€ par personne pour les 5 jours (comprenant les frais fixes d'Hameaux Légers – la gestion de la billetterie, l'hébergement, les repas, l'animation et la facilitation, les déplacements des formateurs, la mise à disposition d'espace-ateliers et d'outils, etc.),
- d'une adhésion à Hameaux Légers et d'une participation supplémentaire en fin de séjour, toutes deux à prix libres et conscients³¹,
- de 1 100 € (formation comprise) pour repartir avec un grand capteur air-chaud de 2 m² avec système de ventilation-régulation électronique, 830 € sans le module électronique.
- de 860 € (formation comprise) pour repartir avec un petit capteur de 0,7 m² avec système de ventilation-régulation électronique, 590 € sans.
- avec la possibilité de déduire la valeur des différents éléments standards en amenant ses propres matériaux et matières premières en réemploi.

En l'occurrence, Rosine avait besoin d'un chauffe-air solaire de 2 m² (au moins, mais elle voulait commencer par tester avec cette surface, d'autant plus qu'elle projette à terme d'installer le système sur un autre bâtiment), mais elle a été capable d'apporter le gros de son matériel (ardoises de récupération,

³⁰ À comparer avec les tarifs génériques appliqués par Enerlog, et présentés plus loin dans la partie “Modèle économique” de l'organisation, page XX

³¹ Une participation libre et consciente est une invitation à estimer au plus juste, le prix d'une prestation ou d'un produit, en fonction : des moyens du ou de la bénéficiaire, de la valeur qu'il ou elle estime avoir reçue, de sa perception ou de sa connaissance des coûts pour le prestataire ou le fabricant-fournisseur, ainsi que des besoins de la structure en termes de développement, et de la hauteur à laquelle il ou elle souhaite soutenir le projet. Un prix indicatif peut parfois être présenté et détaillé, pour repère. En connaissance de ces éléments, il ou elle peut alors fixer librement une participation sans aucune justification. (D'après la documentation éditée par Enerlog et Hameaux Légers sur le sujet)



polycarbonate approvisionné en local, électronique également en partie, etc.), et s'en est finalement tiré, avec l'aide de Loïck sur le dimensionnement, la collecte et le choix des matériaux, pour 527 €, au lieu de 1 100 € donc.

Selon elle, ce qui l'a poussée à participer et s'équiper c'est "l'envie de faire des choses, de vivre plus sainement, et de payer moins de factures". Sur les dix participants, il y avait selon Rosine "autant d'auto-constructeurs intéressés par la low-tech, que de porteurs de projets d'habitat léger, en tiny house ou autre". Et tous étaient comme elle ravis : "que ce soit des relations humaines liées pendant le stage et de l'animation discrète de Hameaux Légers qui a amené une certaine synergie dans le groupe et une vraie convivialité lors des repas partagés, ou de la sensation de fabriquer quelque chose de A à Z, de pouvoir l'adapter au besoin et moyens de chacun, par exemple aux ardoises qu'elle avait elle-même apportées, ou encore de la découverte de l'électronique particulièrement claire et appliquée" – comparée au travail du bois qu'elle maîtrisait déjà. Après le stage et en attendant l'installation collective du système, elle a aussi hâte d'entrer dans la dimension "laboratoire citoyen, participatif, à ciel ouvert, et décentralisé" d'Énerlog, en participant à faire ses retours – voire ses relevés – à Loïck pour continuer d'améliorer en continu et de développer le système.



Annexe 6 : Transfert de responsabilité

Extrait du document officiel fourni par Enerlog et signé par chacun des participants aux formations à l'auto-construction de chauffages solaires à air chaud :

“Après avoir pris connaissance du fonctionnement du chauffage solaire aérothermique durant un stage ou chantier d'accompagnement, je suis informé(e) des caractéristiques de ce panneau solaire dédié au chauffage d'une pièce.

Je suis par conséquent tenu(e) de veiller à tous facteurs pouvant porter atteinte à la tenue du dispositif et à la sécurité des utilisateurs potentiels, et particulièrement ceux liés aux risques électriques (utilisation d'un fusible, et de sections de câbles adaptées, dispositif permettant d'éviter les risques de court-circuits).

J'ai pris l'entière connaissance du fonctionnement du chauffage solaire. Je suis apte à gérer son utilisation (gestion de la période été et hiver et alimentation du ventilateur et du clapet) afin d'éviter toute dégradation prématurée.

Depuis la prise de possession et la lecture de ce document transmis ce jour, j'assume l'entière responsabilité de l'utilisation que j'en fais et les conséquences (matérielles et humaines) qui peuvent en découler.”



Annexe 7 : Déroulé détaillé d'une formation Enerlog

L'idée générale de l'organisation des stages est de fonctionner en demi-journée : d'avoir autant que possible des activités extérieures, atelier le matin, et des activités plus calmes, posées l'après-midi, des temps plus conviviaux le soir, et des documents ressources ou références bibliographiques laissés à disposition des stagiaires.

Jour 1

- Jeux d'interconnaissance et partage d'intentions
- Découverte du lieu et de son fonctionnement durant le stage
- Présentation du déroulé du stage
- Présentation du mouvement low-tech
- Introduction au fonctionnement du chauffage solaire

Jour 2

- Introduction à la construction : matériaux, plans de conceptions, étapes, coûts...
- Introductions aux outils de l'atelier
- Début de la construction du panneau solaire aérothermique en atelier

Jour 3

- Suite de la construction du capteur à air chaud en atelier
- Introduction à la thermique de l'habitat
- Principes et méthodes de dimensionnement du chauffage solaire

Jour 4

- Suite de la construction du chauffage solaire à air chaud en atelier
- Initiation à l'électronique avec Arduino : utilisation de sonde de température et régulation d'un ventilateur 12 volts

Jour 5

- Suite et fin de la construction du chauffage solaire à air chaud
- Temps d'échange et tour de clôture



Étapes de la formation (fabrication du panneau et du boîtier électronique). Enerlog ©



Annexe 8 : Statuts actuels de la société Enerlog

Extraits des statuts d'Enerlog :

- La “Société par actions simplifiée à capital variable” Enerlog a un capital initial de 5 000 €, statutairement compris entre 3 300 € et 50 000 €, et réparti comme suit :
 - Loïck est majoritaire avec 3 600 € d'apports en numéraire,
 - Vincent est second associé majoritaire avec 1 000 € d'apports en numéraire,
 - les autres associés (Jonathan, Gaëlle, Nicolas, Jonathan) sont minoritaires avec chacun 100 € d'apports en numéraire.
- La “collectivité des associés”, est seule compétente pour prendre la majeure partie des décisions structurantes et stratégiques de la société, et les associés sont tenus responsables de ces décisions.
- Enerlog a (principalement) pour objet, en France et à l'étranger :
 - Animation de stages visant à accompagner des auto-constructeurs de solutions low-tech
 - Développement et commercialisation de solutions techniques respectueuses de l'environnement
 - Réalisation de prestations de calculs et de conseils sur le thème de l'énergie
 - Réalisation d'évènements de sensibilisation autour de l'approche low-tech et des enjeux de transition énergétique



Annexe 9 : Comparatif des statuts juridiques possibles

(D'après l'extrait de document interne intitulé "Réflexion sur la structure à adopter")

En plus de rendre possible des contributions bénévoles au projet, et de la dimension collégiale d'une gouvernance de SCIC, Loïck compile à la suite de son parcours starter au PÉPITE, ses réflexions sur le modèle :

"Les bénéfices générés par la SCIC sont principalement réservés aux réserves impartageables. Seule une portion des bénéfices peut être versée aux actionnaires dans la limite d'un taux moyen de rendement des obligations (de l'ordre de 1,8 % du capital en 2016) et dans la limite de 42 % du bénéfice généré.

La SCIC est donc beaucoup plus restrictive en termes de dividendes versés aux actionnaires que la SCOP. En comparaison, l'association n'ouvre pas de droit à la distribution de bénéfices.

Elle permet, aux mêmes titres que la SCOP d'avoir accès à des subventions des collectivités locales.

La SCOP, comme la SCIC, permet d'avoir une aide à la création (Capital SCOP) correspondant à une subvention de 1 000 à 5 000 euros par salarié associé, à hauteur de son apport en capital et dans la limite de 5 000 euros par bénéficiaire.

Contrairement aux SCOP et aux SCIC, l'association possède des démarches administratives et une ingénierie de montage simplifiées. Elle ouvre droit à une exonération de la TVA tant que l'activité n'entre pas en concurrence avec une entreprise et que les recettes générées sont inférieures à un montant de 72 k€."

Loïck a rassemblé dans le tableau suivant les critères qu'il a lui-même définis et triés par ordre de priorité. À noter que la qualification de chaque case du tableau (le code couleur) suit sa seule appréciation.



	Association	SCIC	SCOP	SARL/SAS
1. CIR	Oui si activités lucratives fiscalisées	Oui	Oui	Oui
2. Bénévolat	Possible	Possible	Impossible	Impossible
3. Fiscalité TVA	TVA Exonérées sous conditions Activités lucratives fiscalisées (IS, TVA, CET)	Réserves impartageables déductives de l'assiette de l'IS	Part travail déductible de l'IS, CFE exonérées sous conditions	Existantes
4. Capital	Pas de capital mais possibilité de réaliser des apports	Apport au capital de la région	Apport au capital de la région	Capital par les associés
5. Subventions	Subventions plus facilement accessibles	Subventions des collectivités locales	Subventions des collectivités locales	Inexistantes
6. Gouvernance	Libres mais le représentant légal doit être nommé. Le président peut être révoqué	Mandat de 6 ans pour les gérants	Mandat de 4 ans	Libre
7. Décisions	Définies par les statuts	Vote par collège dans les AG	Vote par collège en AG (65 % de vote pour les salariés)	Libre
8. Dons	Possibilités de recueillir des dons déductibles à 66% des impôts particuliers	Dons fiscalisés	Dons fiscalisés	Dons fiscalisés
9. Administratif	Simplifié	Complexe (révision tous les 5 ans)	Plus complexe qu'une SARL	Complicé mais accessible
10. Rémunérations sur les bénéfices	Inexistantes	Très faibles	Limitées (inf. à 33 %)	Variables
11. Catégories d'associés	Liberté statutaire	Conditions imposées	Conditions imposées	Liberté statutaire



Il est spécifié sur le site officiel de l'administration française³² que :

“Si une association décide de mener une activité lucrative, elle peut continuer d'être exonérée des impôts dits commerciaux, si elle remplit toutes les conditions suivantes :

- sa gestion est désintéressée³³,
- ses activités commerciales ne concurrencent pas le secteur privé³⁴,
- l'activité lucrative représente une part marginale du budget de l'association et ses activités non lucratives restent prépondérantes.

Si les recettes lucratives (sauf celles obtenues lors des manifestations de bienfaisance) représentent une part prépondérante des ressources de l'association , elles sont soumises à déclaration³⁵ et à imposition dès le 1^{er} euro.

Si les recettes lucratives sont marginales dans le budget de l'association, elles sont soumises à déclaration et à imposition au-delà de 72 000 €.”

Par ailleurs, de nombreuses organisations qui partagent aujourd'hui les valeurs d'accessibilité et de soutenabilité d'APALA, d'Enerlog ou du Low-tech Lab, et les incarnent dans un modèle économique cohérent, sont confrontées au même besoin de pouvoir faire intervenir des ressources bénévolement sur le projet. Résultats, elles créent souvent une structure à côté de la structure commerciale, association *Les amis de...* pour pouvoir réaliser du bénévolat. D'après Loïck, “l'inconvénient de ce montage semble la clarté des activités de chaque structure et la dé-corrélation des activités”.

C'est donc en conclusion de son étude que Loïck a décidé de se tourner rapidement vers un statut de SCIC en plus du statut de SAS à capital variable.

³² Plus d'information sur la page dédiée du site du service public : <https://www.service-public.fr/associations/vosdroits/F31838>

³³ Plus d'information sur la page dédiée du site du service public : <https://www.service-public.fr/associations/vosdroits/F31839>

³⁴ Plus d'information sur la page dédiée du site du service public : <https://www.service-public.fr/associations/vosdroits/F34104>

³⁵ Plus d'information sur la page dédiée du site du service public : <https://www.service-public.fr/associations/vosdroits/F1178>



Le Low-tech lab est soutenu par

 *Fondation*



VILLE DE
BOULOGNE-
BILLANCOURT

