



AAP "Science Frugales" (MITI du CNRS / IRD) Projet CoDEC - Co-construction d'un Design Energétique Contextuel

Guillaume Guimbretiere, Benjamin Pillot, François Jarrige

► To cite this version:

Guillaume Guimbretiere, Benjamin Pillot, François Jarrige. AAP "Science Frugales" (MITI du CNRS / IRD) Projet CoDEC - Co-construction d'un Design Energétique Contextuel. 2021. hal-03283626

HAL Id: hal-03283626

<https://hal.science/hal-03283626>

Preprint submitted on 12 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Mission pour les initiatives
transverses et
interdisciplinaires

Sciences Frugales - AAP 2020

Projet CoDEC

Co-construction d'un design énergétique contextuel

Guillaume Guimbretiere¹, Benjamin Pillot², François Jarrige³

¹ LACy (UMR8105, CNRS - Université de La Réunion - Météo-France)

² Espace-Dev (UMR228, IRD - Université de Montpellier)

³ LIR3S (UMR7366, CNRS - Université de Bourgogne)

1 - Résumé (10 lignes maximum)

Les ressources disponibles limitent nécessairement la technologie pouvant être déployée durablement dans un contexte (un environnement à un moment donné). Le projet **CoDEC** s'attaque de façon volontairement radicale à la question de l'intégration pérenne d'un régime technologique low-tech dans un contexte donné, en élaborant une méthodologie de *Design Énergétique Contextuel*. Tout d'abord, il sera question de dresser le bilan des ressources strictement disponibles dans un contexte via la quantification des flux émergétiques (avec un M – conceptualisés par H.T. Odum). En parallèle, La question de l'énergie électrique étant centrale, et conscient des influences entre technologie et tissu social, un prototype low-tech modèle (générateur thermo-électrique solaire) sera co-développé avec une association. Enfin, en nous inspirant de la démarche critique low-tech et de la démarche d'intégration et design de la Permaculture, nous étudierons ensuite les critères d'intégration de cette low-tech dans un environnement type au potentiel émergétique fixé.

2 - Mots-clés (5 maximum)

Critique Low-tech ; Intégration environnementale ; Design énergétique contextuel ; Permaculture ; éMergie

3 - Exposé scientifique du projet (4 pages maximum hors figures) :

«Notre société moderne consomme les ressources de la terre sans limite posant à court terme le problème de la durabilité de cette approche», et hélas nous ne pouvons que constater l'inefficacité successive des politiques publiques à modifier cette approche. De plus en plus, cela semble due en partie à leur incapacité à remettre en cause de manière radicale l'ensemble du système actuel¹, ce qui se traduit par une stratégie d'améliorations ciblées qui n'est pas à la hauteur des enjeux. Dans le projet **CoDEC**, nous souhaitons explorer où pourrait nous (les scientifiques) mener une nouvelle trajectoire technologique en rupture avec les codes des dernières décennies. Désireux d'éviter les écueils des politiques, nous proposons alors de réfléchir de manière volontairement radicale à ce que pourrait être le futur de la Recherche, durable, s'appuyant sur des outils conviviaux et pleinement intégrés à leur environnement.

Déjà conscient que (i) cette réflexion nous mènera inévitablement dans les sphères de co-production de connaissance où se rencontre les acteurs des milieux académiques et citoyens, et (ii) qu'il est dangereux de travailler sur des développements conceptuels déconnectés de la réalité propre aux développements et usages de la technique ; notre proposition comprend également un volet de co-développement d'un prototype low-tech modèle.

Décrire le mariage d'un objectif de renversement de paradigme (sans connaître encore les nouveaux repères issue du travail de déconstruction / reconstruction) et d'un co-développement technique est délicat, nous espérons être assez clair à décrire un projet profondément exploratoire dans le fond comme dans la forme.

- L'état de l'art.

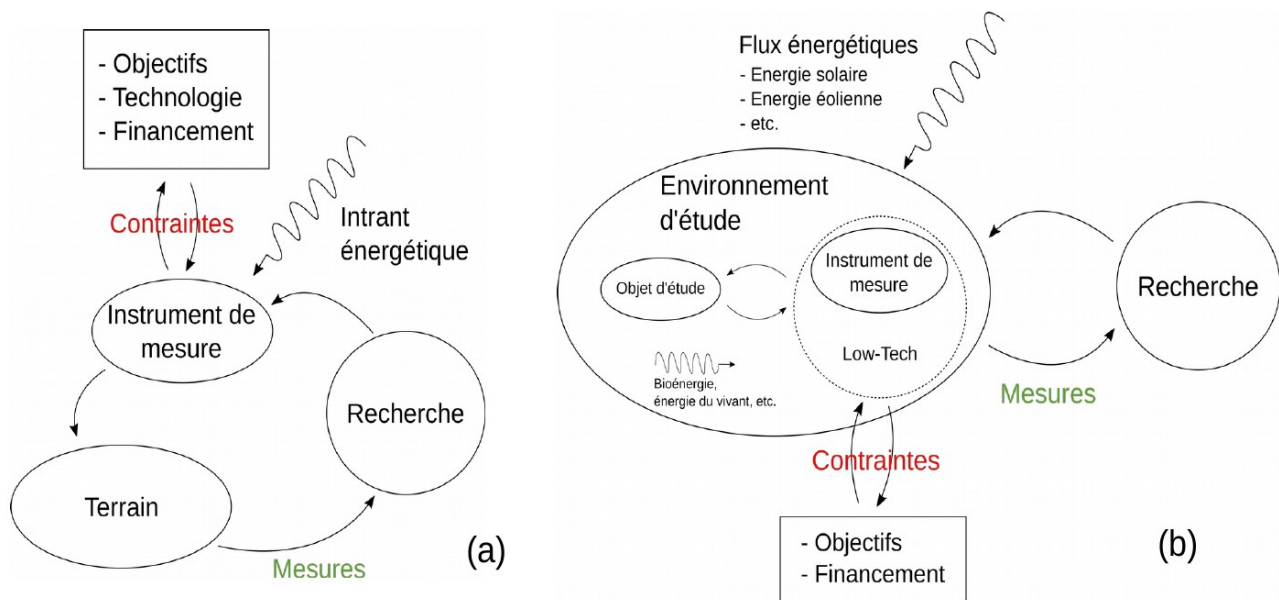
Nous partageons le constat fait dans le texte de l'AAP que « la science elle-même contribue à la consommation de ressources pour la recherche ou à cause d'innovation technologiques dont certaines sont très consommatrice d'énergie. Le développement des

¹- Citons juste pour exemple la politique constante d'amélioration des automobiles alors qu'il est évident que c'est un choix technologique désastreux pour répondre au besoin de mobilité d'une société : déplacer plus d'1 tonne pour répondre au besoin de mobilité d'un individu de 50-100 kg !

approches peu gourmandes en ressources énergétiques ou en matières premières ouvre de nouvelles voies et possibilités pour la recherche.». Ainsi, nous proposons de travailler sur un changement de paradigme concernant la nature technique et la place de l'instrumentation dans l'activité de recherche. Pour commencer, considérons le cas d'une instrumentation déployée dans un milieu pour une mesure.

Instrumentation et activité de recherche

En science, l'instrument de mesure est l'outil qui permet d'obtenir expérimentalement une grandeur à même de caractériser un phénomène. De manière plus générale, l'instrument de mesure est, pour le chercheur, un moyen d'observation du réel dans un environnement donné. Dans différents domaines de recherche, la campagne de mesures permet ainsi de vérifier expérimentalement sur le terrain la validité d'une théorie ou d'un modèle développés par ailleurs. L'instrument de mesure est généralement défini par : (1) les objectifs de l'activité de recherche, (2) les contraintes technologiques liées au développement et à la disponibilité du dit instrument au moment de la campagne, (3) les contraintes financières et économiques liées à l'acquisition de celui-ci par le laboratoire de recherche impliqué dans l'étude.



(a) L'instrument de mesure comme interface technologique exogène permettant d'extraire de l'information d'un terrain
(b) L'instrument de mesure comme outil défini par les ressources de l'environnement dans lequel se situe l'objet d'étude et par les besoins de l'activité de recherche

Figure 1: Approche classique vs. approche énergétique Low-Tech pour l'instrumentation au service de l'activité de recherche

Dans l'approche *classique*, on peut voir l'instrument de mesure comme une interface technologique exogène reliant une activité de recherche à un terrain. Exogène dans ce sens que l'instrument est toujours défini à partir des besoins de l'activité de recherche et de contraintes extérieures au cadre dans lequel se déroule la campagne de mesures. Parfois, les caractéristiques du terrain peuvent influencer sur la conception d'un instrument, mais toujours d'un point de vue d'une contrainte technique à résoudre via des procédés et des technologies développés par ailleurs. Dans ce contexte, les systèmes de stockage et de production d'énergie associés (batterie, générateur, etc.), et nécessaires au bon fonctionnement d'un instrument résultent des mêmes considérations. Ils sont pensés de manière externe de telle sorte que l'instrument fonctionne dans tout type de conditions données, et pour tout type d'environnement d'étude. Ces systèmes dépendent avant tout de la technologie disponible à l'instant t, et des contraintes économiques associées. Cette approche classique est représentée dans le schéma de la Figure 1(a).

Vers un changement de paradigme

Un renversement de paradigme verrait une approche *contextuelle*² de l'instrumentation, ne dépendant non plus de contraintes externes mais des ressources à disposition au sein de l'*environnement d'étude*, et en accord avec une philosophie *frugale* (i.e. Low-Tech). Dans ce nouveau cadre, l'instrument de mesure ne serait plus une interface technologique visant à extraire de l'information d'un terrain, mais un élément systémique inhérent au dispositif de recherche mis en place pour observer un objet d'étude dans un environnement considéré. Cette nouvelle approche conceptuelle est décrite dans la Figure 1(b). D'un point de vue énergétique, l'apport requis pour le bon fonctionnement de l'instrument est dépendant des transferts entre le système et le milieu extérieur (au sens thermodynamique du terme), et des ressources disponibles au sein du système. L'approche Low-Tech devient dès lors une contrainte interne au système (contextualisation technologique et énergétique), tandis que les objectifs de recherche et les financements associés demeurent des contraintes externes.

On comprend à la lecture de cette ébauche préliminaire du changement de paradigme que celui-ci doit prendre en compte

2 - ici, le *contexte* est considéré comme l'état du lieu au moment de la mesure (végétation, climat, ...), augmenté des acteurs non-permanents (scientifiques, ...).

l'ensemble des ressources environnementales considérées dans le contexte de la mesure et y inclure une activité humaine pensée de manière durable. L'impact devant être pensé local (le site de mesure) ET global (émission de GETS durant la conception de l'instrument en atelier et la préparation de la mesure en laboratoire, par exemple). Ce changement de paradigme nécessite également de porter un regard critique renouvelé sur les critères de conception et d'usage des outils techniques. Penser et agir pour intégrer de manière durable une activité humaine dans le contexte environnemental est l'objectif principal de la Permaculture. Penser les outils de manière critique est le cœur de la démarche low-tech : dans le projet **CoDEC**, nous proposons de marier les deux avec l'objectif d'aboutir à la mise en forme d'une démarche de *design énergétique contextuel*.

- **Les verrous scientifiques et les objectifs mettant particulièrement en évidence le caractère interdisciplinaire, innovant, en rupture et exploratoire du projet.**

(i) Les textes critiques fondateurs de la philosophie low-tech^{3,4,5,6,7} nous apprennent que la technique ne peut-être pensée séparée de son cadre social, sans prendre le risque d'effets retards inévitables (effet rebond ou inadéquation avec la démocratie, par exemple). Ici, le groupe social concepteur/utilisateur de l'outil est celui des scientifiques et la projection de ce que sera l'instrumentation scientifique du futur ne peut pas être abordée d'un point de vue uniquement technique, mais implique un changement de perspective. Il faut alors développer une *culture* de la low-tech qui implique un travail de déconstruction de certaines certitudes erronées (comme la possibilité d'une transition énergétique sans contraction, par exemple). Cette déconstruction ne peut se faire que via une approche critique et réaliste, et une des répercussions souhaitées du projet **CoDEC** est de stimuler chez les usagers scientifiques ce discours critique (indissociable d'un développement technique⁸) et un dépassement d'une lecture uniquement technique des problématiques technologiques, y compris low-tech.

(ii) Le fait que l'environnement d'une mesure ou campagne de mesures présente des ressources énergétiques limitées et qu'une science bien pensée devrait pouvoir se dérouler en respectant ces limites : Il est temps de renoncer à une vision « tout est possible » ou « qui peut le plus peut le moins » de l'activité de recherche vers une vision plus humble dans son application bien qu'ambitieuse sous de nouveaux aspects : respecter le vivant, durabilité absolue, inscrite dans l'action avec la construction de liens social, etc ... - « *Dépasser les frontières* » oui, mais dans le respect des limites naturelles⁹.

(iii) Évidemment, l'exploitation du potentiel énergétique d'un contexte dépend fortement des technologies disponibles. Dans **CoDEC**, nous focaliserons la réflexion technique sur un point particulièrement délicat : La dépendance forte de la pratique scientifique à l'électricité. Cette énergie finale a crû en popularité à la fin du 19^{ème} siècle notamment du fait d'être « propre » sur son lieu de consommation, et donc de permettre la délocalisation de la pollution résultante loin de son lieu d'usage. Dès lors, la distance qui existe aujourd'hui entre acteurs et conséquences de leurs habitudes de consommation électrique rend difficile une réelle prise de conscience de la nécessité d'un changement de ces dernières. Typiquement, l'électricité est une énergie hautement qualitative (i.e ayant subi un grand nombre de transformations), pourtant souvent utilisée pour des procédés dégradés tel que le chauffage¹⁰. La dépendance à l'électricité est tellement forte que des travaux existent sur la récupération d'énergie (energy harvesting) dans l'environnement et la majorité vise une conversion vers de l'énergie électrique^{11,12,13}. Cette vision est hélas trop restreinte. Si l'activité scientifique est pensée et conçue pour être intégrée au mieux avec son environnement, alors un recentrage sur les ressources locales à disposition permettrait d'utiliser les formes d'énergie les plus adaptées à chaque besoin. L'électricité resterait ainsi réservée à la partie hautement qualitative de la recherche (manipulation et traitement de l'information, etc.) tandis que les processus de qualité inférieure (Thermo-régulation, transport, éclairage, etc.) pourraient être réalisés à l'aide de formes plus dégradées d'énergie, disponibles dans l'environnement immédiat.

(iv) Autant la technologie ne doit pas être développée sans réfléchir à ses conséquences sur l'équilibre social, autant une réflexion conceptuelle sur la nature et la place de la technologie doit rester connectée aux aspects matériels et énergétiques concrets de la technique. Trouver le bon équilibre du dialogue entre activités critiques et techniques est une difficulté que nous devons affronter.

(v) Les précédents verrous concernent des difficultés méthodologiques ou conceptuelles que le travail de dé-construction / reconstruction doit intégrer. Nous avons également identifiés une série de questions auxquelles nous devons répondre pour

3- Ivan Illich, *La convivialité* (Editions du seuil, 1973)

4 - E.F. Schumacher, *Small is beautiful, une société à la mesure de l'homme* (1973)

5 - Jacques Ellul, *Le bluff technologique* (Hachette, 1988)

6 - Richard Sclove, *Choix technologiques, choix de société* (The Guilford Press, 1995)

7 - Lewis Mumford, *Technique et civilisation* (1934)

8 - François Jarrige, *Techno-critiques* (La Découverte, 2016)

9 - Steffen et al., *Planetary boundaries : Guiding human development on a changing planet*, Science, 347, 1259855 (2015)

10 - Ulgiati, S., Odum, H. T., & Bastianoni, S. (1994). *Emergy use, environmental loading and sustainability an emergy analysis of Italy*. Ecological Modelling, 73(3-4), 215-268. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)90064-7](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)90064-7)

11 - Teng et al., *A Review on Energy Harvesting Potential from Living Plants : Future Energy Resource*, International journal of renewable energy research, 8, 2598-2614 (2018)

12 - Lee et al., *Survey of energy harvesting and energy scavenging approaches for on-site powering of wireless sensor- and microinstrument-networks*, Energy Harvesting and Storage : Materials, devices, and Applications IV, doi:10.1117/12.2016238

13 - Trizcinski et al., *Approaches to energy harvesting and energy scavenging for energy autonomous sensors and microinstruments*, Micro- and Nanotechnology Sensors, Systems and Applications IX, doi:10.1117/12.2262957

construire la démarche de *design énergétique contextuel* :

Comment caractériser le contexte ?

Avons nous les outils pour rendre compte de manière quali-quantitative des ressources et plus précisément du potentiel énergétique d'un contexte ?

Quelle stratégie adopter pour une conception / utilisation conviviale de l'instrument ? La place de la critique ?

Quels sont les critères d'une parfaite intégration entre un régime technologique et le contexte ?

- **Méthodologie à mettre en place et implication des équipes**

L'avantage d'une vision conceptuelle radicale est de permettre l'évaluation des bornes de l'intervalle dans lequel la science de demain pourrait être amenée à évoluer. En maximisant les contraintes théoriques du modèle conceptuel que nous nous proposons de construire, nous cherchons à ce que les implémentations futures ne soient pas que de simples gadgets scientifiques mais de véritables et durables innovations. C'est pourquoi nous envisageons l'analyse énergétique contextuelle du projet **CoDEC** vis-à-vis d'un système *fermé* au sens thermodynamique du terme. Dans ce système fermé, nous considérons des chercheurs à même de mettre en place un dispositif de recherche *durable* permettant d'en extraire de l'information, et ce à partir des ressources et intrants énergétiques disponibles localement. Il est important d'insister sur le côté durable de l'approche. En effet, la Terre est elle-même un système fermé et l'on voit que rien ne nous empêche d'en exploiter les ressources disponibles de manière non durable, avec les conséquences que l'on sait⁹. La reproduction de ce schéma de développement à l'échelle inférieure ne changerait en rien l'approche, et la sur-exploitation des ressources locales résulterait nécessairement sur le même type de conséquences dramatiques.

Design énergétique contextuel

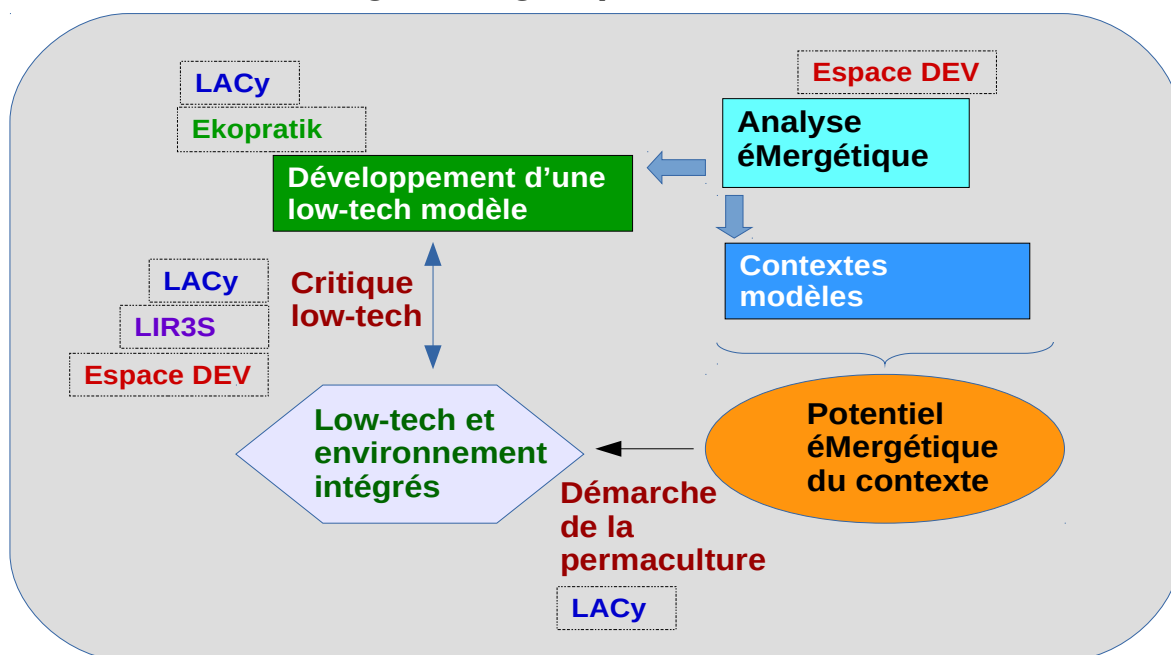


Figure 2: Synergie des tâches et implications des acteurs pour le développement du Design énergétique contextuel

La méthodologie adoptée (voir figure 2) sera alors en premier lieu, d'établir l'analyse éMergétique (avec un M) d'environnements modèles contextualisés. Parallèlement, un prototype low-tech modèle sera co-développé avec des acteurs du milieu associatif (association Ekopratik). L'analyse éMergétique de l'action de développement du prototype low-tech sera également établie. Dans un deuxième temps, la réflexion portera sur la capacité d'intégration de ce prototype low-tech modèle dans un contexte de recherche. La démarche critique de la low-tech et les principes de la permaculture serviront de guide pour une intégration facilitée entre l'outil low-tech et l'environnement au potentiel éMergétique fixé.

→ Analyse énergétique contextuelle : flux d'éMergie et durabilité [Espace-DEV]

L'éMergie est définie comme la quantité totale d'énergie d'un seul type, généralement l'énergie solaire, directement ou indirectement requise afin de générer un produit ou un service¹⁰. Typiquement, l'information, la culture ou les dernières innovations technologiques requièrent généralement des flux énergétiques faibles, mais des flux d'éMergie très importants du fait du très grand nombre de transformations associées (i.e. une grande quantité d'énergie solaire aura été nécessaire en amont du système pour finalement arriver à ces flux plus limités). On considère que ces flux d'énergie sont de très grande qualité car plus à même de se répercuter et d'amplifier les autres flux.

L'éMergie est une méthode d'évaluation écocentrique, permettant de comparer de manière objective les aspects économique et écologique de différents systèmes¹⁴. Elle autorise notamment l'ensemble des ressources à être comparées entre elles sur une base équitable, et permet de mesurer le niveau de durabilité des solutions envisagées¹⁵.

Dans le cas du projet **CoDEC**, deux indices particulièrement pertinents liés à l'éMergie sont le rendement éMergétique EYR (*Emergy*

Yield Ratio) et la charge environnementale ELR (*Environment Loading Ratio*). Le premier rend compte de la capacité d'un processus à exploiter les ressources locales par rapport à l'investissement injecté¹⁴. Le second est un indicateur des pressions exercées par ce même processus sur l'écosystème local, c'est-à-dire une mesure du stress écosystémique engendré par les activités de production¹⁵. Pour qu'un processus soit considéré comme *durable*, l'EYR doit être maximisé et l'ELR minimisé. Cette approche est particulièrement adaptée au cadre de l'activité de recherche et des Sciences Frugales : un EYR élevé signifie que le processus est qualitatif (éMergie élevée) et s'appuie principalement sur les ressources locales, tandis qu'un ELR faible démontre que ce dernier a un impact limité sur l'écosystème local. Dans le cadre du projet **CoDEC**, notre objectif sera donc de proposer un modèle conceptuel permettant de maximiser le rendement éMergétique et de minimiser la charge environnementale d'un dispositif de recherche destiné aux mesures de terrain dans un système donné. Ce travail sera effectué en considérant une série d'environnements modèles et appliqué à l'action de développement d'une low-tech modèle.

→ Développement d'une low-tech modèle [LACy, Ekopratik]

La démarche low-tech est une démarche *critique* qui questionne le besoin que la technologie est sensée assouvir, son utilité, la consommation de ressources énergétiques et matérielles associés, son accessibilité et tout simplement sa convivialité (au sens d'Ivan Illich³). Dans le cadre du projet **CoDEC**, cette démarche critique servira de guide pour identifier les principes généraux d'une instrumentation intégrée dans son contexte. L'importance de la critique, trop souvent négligée, dans le développement d'une technologie est très forte, ce qui explique la présence de François Jarrige dans le projet. Historien expert des techno-critique, il apportera un regard extérieur et une profondeur historique à l'ensemble du débat.

La démarche low-tech privilégie un savoir-faire technique artisanal et une démarche DIY qui projeté dans le contexte de l'action scientifique renvoie vers l'emploi local. Ce lien social est un des éléments d'intégration durable de l'activité scientifique dans son contexte. Alors, afin d'explorer concrètement la question de la *convivialité* dans le cadre élargi de la Science en société, nous planifions une action de co-développement en collaboration entre les acteurs académiques du projet **CoDEC** et le milieu associatif. L'idée est de partir sur un élément technique simple et central dans la mesure où ses applications énergétiques potentielles sont multiples : un module thermo-électrique présente de telles caractéristiques : un courant électrique permet de chauffer ou refroidir (effet peltier) et une source de chaleur d'obtenir un courant électrique (effet Seebeck). Notre choix se porte donc sur la conception d'une unité de production d'électricité par effet thermo-électrique solaire. L'animation de l'action de co-développement sera soustraite à l'association Ekopratik. L'association héberge l'antenne réunionnaise du low-tech lab et comprend une équipe salariée experte en animation. En impliquant en plus de bénévoles, des salariés, la sous-traitance garantie la réussite du co-développement. Dans une démarche de science ouverte, un atelier de construction de prototypes low-tech est programmé en fin de projet.

→ Intégration de la low-tech dans l'environnement et Permaculture [LACy, Espace-DEV, LIR3S]

La permaculture peut-être résumée comme une démarche de réflexion/action visant l'intégration d'une communauté humaine en harmonie dans son milieu. Le design de l'environnement et de la place des humains dans celui-ci est un élément centrale de la démarche. La difficulté étant d'arriver à capter de quoi subvenir à ses besoins dans l'environnement sans perturber celui-ci au-delà de seuils remettant en cause la durabilité du système. La Permaculture s'appuie sur une série de 12 principes listés en 2002 par David Holmgren, un des fondateurs :

1 – Observer et interagir ; 2 – Capturer et stocker l'énergie ; 3 – Obtenir une production ; 4 – Appliquer l'autorégulation et accepter la rétroaction ; 5 – Utiliser et valoriser les ressources et les services renouvelables ; 6 – Ne produire aucun déchet ; 7 – Concevoir des structures aux détails ; 8 – Intégrer au lieu de séparer ; 9 – Utiliser des solutions lentes et à petites échelles ; 10 – Se servir de la diversité et la valoriser ; 11 – Utiliser les bordures et valoriser la marge ; 12 – Face au changement, être inventif

Dans le cadre du projet **CoDEC**, en projetant les *principes* permaculturels dans le cadre d'une activité de recherche, nous réfléchissons à comment le scientifique peut « capter » les informations nécessaires sans perturber le milieu. A l'heure actuelle, nous n'avons évidemment pas encore travaillé sur l'ensemble des principes, mais on peut entrevoir rapidement l'intuition du porteur de projet (titulaire d'un Certificat de Conception en Permaculture) quand au potentiel de la démarche, en remarquant que le premier principe incite à identifier l'ensemble des acteurs d'un lieu et leurs interactions (ce sont de potentiels indicateurs locaux, porteur d'un savoir profane transdisciplinaire) et que le second concerne directement la gestion de énergie.

- Les résultats attendus.

Des actions décrites plus haut, nous attendons les résultats suivants :

(i) Une démarche d'estimation du potentiel éMergétique d'un contexte (lieu + personnes + processus + ressources) → Un package Python de modélisation holistique et de quantification du potentiel éMergétique pour les écosystèmes. Une démarche de partage des librairies Python à la communauté scientifique sera engagée en parallèle d'une publication scientifique d'explication de sa raison d'être et de son fonctionnement.

(ii) L'estimation d'une fourchette raisonnée dans le potentiel énergétique électrique contextuel: cette estimation quantitative est destinée à servir de repère pour guider le cahier des charges dans le développement de futurs capteurs avec une limite supérieure en consommation électrique durable.

(iii) Un prototype low-tech de générateur thermo-électrique solaire + un tutoriel partagé de conception.

14 - Brown, M. T., & Ulgiati, S. (1997). *Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation*. Ecological Engineering, 9(1-2), 51-69. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00033-5)

15 - Hau, J. L., & Bakshi, B. R. (2004). *Promise and problems of emergy analysis*. Ecological Modelling, 178(1-2), 215-225. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.12.016>

(iv) Une synthèse détaillée sous forme d'un article scientifique décrivant la démarche globale du Design énergétique contextuel + Une synthèse vulgarisée sous forme graphique par le dessinateur VITO à destination de la communauté scientifique et des acteurs de la cité (associations, politiques, etc ...)