

De la science ouverte aux communs dans le génie électrique

Sacha Hodencq¹, Emmanuel Laurent², Adrien Prévost¹

¹Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G2Elab, 38000 Grenoble, France

²Collectif La MYNE, 2 rue JB Clément, 69100 Villeurbanne

RESUME – Dans le domaine du génie électrique, les pratiques de science ouverte se développent désormais dans leurs différentes dimensions : open data, open-source software, articles en open access, et plus récemment open hardware. Ces pratiques peuvent toutefois conserver des points aveugles, notamment en termes de communauté et de gouvernance. La notion de communs permet de visualiser ces enjeux à travers un cadre conceptuel. Cet article exploratoire propose de cartographier ce que la notion de communs peut apporter aux pratiques de science ouverte au sein du génie électrique, d’une part dans les cas des processus de modélisation énergétique avec l’exemple de l’outil OMEGAlpes, et d’autre part à l’open hardware avec le cas de l’éolienne Piggott.

Mots-clés—Science Ouverte, Communs, énergie, gouvernance, communauté

1. INTRODUCTION

La science ouverte fait désormais partie du paysage des pratiques de recherche dans le génie électrique, à travers l’accès ouvert aux publications, mais également aux données, aux codes et aux plans d’objets physiques. Des améliorations significatives ont été observées ces dernières années, mais ces pratiques restent à développer : en ingénierie, les publications sont passées de 30% à 64% en open access entre 2018 et 2023 [1]. Si la science ouverte offre de nombreux avantages, elle peut parfois peiner dans ses incarnations concrètes, notamment lorsqu’il s’agit de qualifier la communauté de concernés et ses modes de gouvernance. Le concept de communs peut ici venir enrichir les pratiques de science ouverte, dans ses différentes incarnations.

Cet article propose d’explorer ce que la notion de communs peut apporter à l’étude des systèmes énergétiques, et en particulier aux pratiques de science ouverte dans le génie électrique. La première section présentera les notions de communs et communs énergétiques au regard des pratiques de science ouverte. La seconde section s’attachera ensuite à détailler comment les communs peuvent s’incarner dans les processus de modélisation énergétique, avec l’exemple de l’outil OMEGAlpes. Enfin, la troisième section présentera les enjeux et les synergies possibles entre science ouverte, open hardware et communs à travers le cas de l’éolienne Piggott.

2. COMMUNS ENERGETIQUES ET SCIENCE OUVERTE

2.1. Communs : définition et enjeux

Les communs proposent des modes d’exploitation collectifs d’une ressource visant à être efficaces, justes et soute-

nables [2]. On peut représenter un commun comme une ressource gérée par une communauté, et respectant une gouvernance avec des règles partagées, collaboratives et adaptables [3]. La Figure 1 illustre ce triptyque ressource – communauté – gouvernance (d’autres visions plus détaillées existent, e.g. comprenant les cadres socio-économiques et politiques ainsi que les interactions et systèmes liées [4]).

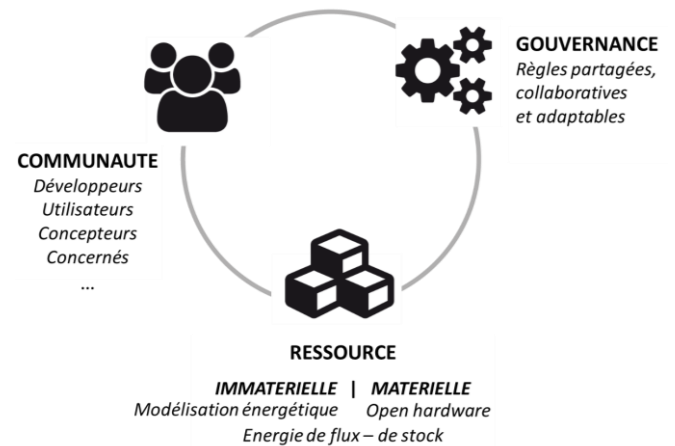


Fig. 1. Piliers des communs appliqués à la recherche sur l’énergie. Source : auteurs à partir de lescommuns.org ; CC-BY-SA

Ces ressources peuvent être matérielles, comme l’eau ou un objet physique, ou immatérielles comme la connaissance ou les codes informatiques. On peut ainsi définir des communs informationnels, i.e. un système d’information dont l’objectif est de produire, conserver et préserver l’information pour les générations actuelles et futures (e.g. Wikipédia). Les communs matériels et immatériels ont toutefois des enjeux distincts :

- Les ressources matérielles sont par nature « rivaless » et souvent épuisables ou usables : le modèle de gouvernance garantit alors que la ressource est utilisée et maintenue collectivement de manière durable et équitable [2].
- Les ressources immatérielles peuvent être dupliquées et leur libre circulation favorise un enrichissement continu : la gouvernance tend ici à garantir un accès équitable à la conception, la gestion et l’usage de la ressource.

Il existe ainsi une tension entre communs matériels et immatériels, ou encore entre les notions de *common pool resources* d’Elinor Ostrom et celles du mouvement du libre [5].

2.2. Communs énergétiques

La notion de communs peut s'appliquer au secteur de l'énergie, via la définition de communs énergétiques, dont Bauwens et al. proposent une revue de littérature [6]. Les communs énergétiques sont définis comme un ensemble de relations sociales et règles de gouvernance, développées par des communautés de producteurs et/ou utilisateurs d'énergie pour gérer collectivement et de manière démocratique la ressource énergétique, depuis l'extraction de matériaux jusqu'à la fin de vie, avec pour objectif l'amélioration de l'accès à l'énergie, l'efficacité et la soutenabilité [6].

La ressource considérée ici est le système énergétique, que ce soit pour l'extraction matérielle, la production - la distribution - l'utilisation - le stockage d'énergie, ou encore la gestion en fin de vie. La définition de la communauté et de la gouvernance réclame de lister les concernés et de s'interroger : qui bénéficie de cette énergie, qui en subit les conséquences ? Des procédures équitables sont alors à mettre en place pour la gestion de la ressource et des infrastructures associées. Les communautés locales d'énergie peuvent préfigurer de tels modes d'organisation [7] (e.g. via la définition de clefs de répartition), ou même à travers des démarches de conception collaborative et fabrication locale tels qu'introduits par Giotitsas et al [8].

2.3. De la science ouverte aux communs

2.3.1. Intérêts de la science ouverte en génie électrique

Dans cette section, nous nous attacherons à identifier les apports du concept de communs aux pratiques de science ouverte. On notera en préambule que mouvement du libre et communs ont les mêmes aspirations, à savoir « penser et garantir des formes d'accès/usages à des ressources partagées, là où prévalait la doxa de l'exclusivité » [5]. Aussi, les deux approches sont complémentaires, il ne s'agit donc pas ici de dénigrer le mouvement libre par le prisme des communs.

Dans le génie électrique, la science ouverte s'incarne avec l'accès ouvert aux articles et résultats de recherche (open access), grâce aux feuilles de routes institutionnelles telles que le Plan National pour la science ouverte [9] et à l'acculturation des chercheurs. Mais elle recouvre également les pratiques de modélisation énergétique ouverte avec des processus ouverts et reproductibles depuis l'accès ouvert aux données et aux résultats (open data), en passant par des modèles aux codes open source [10], dont la licence libre permet la libre diffusion, i.e. l'accès, l'utilisation, la modification et la redistribution selon différentes conditions. Plus récemment, le mouvement de Open-Source Hardware (OSH) (ou open hardware) a permis la diffusion de plans de conception pour une variété de dispositifs de génie électrique tels que les batteries [11], les capteurs [12] ou encore l'électronique de puissance [13]. L'OSH rassemble « les conceptions "Hardware" réalisées publiquement et disponibles de manière à ce que n'importe qui puisse étudier, modifier, distribuer, créer et vendre un "design" ou un produit basé sur ce design » [14]. On peut ajouter à ces capacités celles d'utilisation et de gestion de la fin de vie. Si la science ouverte recouvre parfois des pratiques plus larges telles que la recherche participative, on la restreindra dans cet article aux pratiques d'open data, open source, open hardware et open access, qui semblent refléter les pratiques majoritaires de ce mouvement dans le génie électrique [15].

2.3.2. Différences entre licences libres et brevets

Il peut être pertinent à ce stade de distinguer les champs de protection entre licence libre et brevet. Un brevet protège l'activité économique qui peut être réalisée à partir de ce qui est décrit dans le texte et les schémas du brevet en donnant au demandeur du brevet des droits particuliers d'exploitation et le pouvoir d'autoriser ou d'interdire des usages à caractère commercial. Le texte du brevet en tant que tel est librement accessible et partageable, même avec une activité commerciale. Les licences libres, initialement développées dans le cadre de la création artistique, confèrent des droits quant à la diffusion d'une œuvre. Ainsi dans le cas de dispositifs open-hardware, les plans et les textes décrivant la fabrication ou la mise en œuvre sont couverts, mais pas la fabrication, la distribution et les usages des systèmes fabriqués à partir de ces plans.

2.3.3. Intérêts des communs en génie électrique

De manière générale, l'approche par les communs vient remettre au même niveau la ressource avec la communauté et la gouvernance, là où la science ouverte tend à placer la ressource au centre, n'abordant la gouvernance que pour le choix de licence ou les règles de contribution. Une approche par les communs pose ainsi des questions autour de la communauté (qui décide ?), de la gouvernance (comment ?), et de la ressource (gestion durable ?). Il est possible d'identifier différents apports en regard des pratiques de science ouverte.

Tout d'abord concernant la communauté, l'approche par les communs invite à en identifier les membres et à expliciter des rôles pour ceux-ci. Un rôle sera défini pour un groupe de membres avec un « faisceau de droits » [16], qui peuvent être discutés et adaptés au cas par cas (e.g. utilisateur avec droit d'accès et d'utilisation ; gestionnaire avec droit d'accès, d'utilisation et de gestion ; etc [5]), enrichissant les choix des seuls droits de diffusion discrétisés offerts par les licences ouvertes.

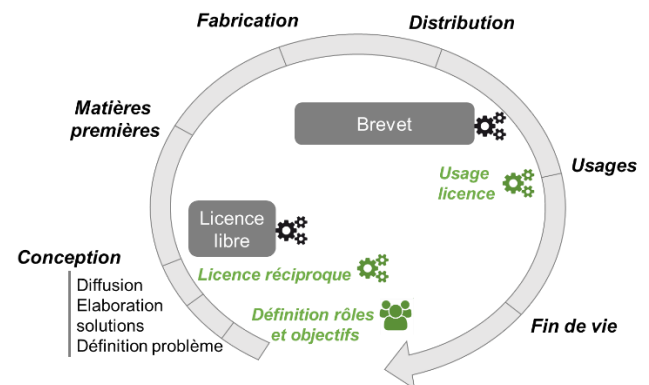


Figure 2 : Positionnement d'éléments de gouvernance par rapport au cycle de vie de la ressource. Source : auteurs

Ensuite concernant la gouvernance, outre les rôles, l'explicitation collaborative avec la communauté d'objectifs de développement et d'une charte de valeurs permet d'octroyer du pouvoir de décision aux membres et de clarifier les enjeux sur lesquels la communauté s'oriente. La valeur du travail de la communauté est ainsi spécifiée et alignée avec des usages souhaités. Pour dépasser l'affichage et outiller juridiquement cette orientation, Monnin et al. proposent des licences intégrant les *droits d'usage* [17]. En effet, la gouvernance peut se restreindre à l'application d'une licence libre dans la pratique

de la science ouverte ; or la majorité de ces licences propose des droits de diffusion discrétisés et pouvant être détournés. Carine Bernault souligne notamment le manque de réciprocité (i.e. le devoir de contribuer au bien commun si on en profite) des licences libres, pouvant conduire à des démarches prédatrices. Elle met ainsi un lumière un inventaire de licences réciproques permettant de pallier ce problème [18]. La Figure 2 présente ces apports non-exhaustifs.

3. COMMUNS ET MODELISATION EN GENIE ELECTRIQUE

3.1. *Les outils de modélisation énergétique comme communs informationnels*

Une première manière d'envisager les apports des communs par rapport à la science ouverte seule, est de considérer les outils de modélisation énergétique comme des communs numériques ou informationnel.

Dans cette section, nous prendrons l'outil de modélisation énergétique OMEGAlpes [19] comme étude de cas de modélisation énergétique ouverte (et non comme exemple de bonne pratique de communs). OMEGAlpes est un modèleur de problèmes d'optimisation linéaire (MILP - Mixed Integer Linear Programming) open-source, notamment utilisé en phase d'étude préliminaire pour le dimensionnement et l'opération de systèmes énergétiques aux échelles quartier. Codé en Python, cet outil est bien aligné avec les pratiques de science ouverte [15] : il est disponible et partagé sur une forge logicielle Gitlab sous licence Apache 2.0, documenté sur readthedocs, et archivé sur Software Heritage.

Du point de vue des communs, la ressource est ici immatérielle : du code informatique associé à des connaissances. La gouvernance est liée à la licence ouverte qui régit la diffusion du code (ici la licence Apache 2.0 octroie des droits d'utilisation, de modification et de redistribution, sous condition d'attribution). La communauté peut rassembler les développeurs, les utilisateurs, et les acteurs destinataires des résultats ou personnes affectées (e.g. acteurs publics, bureaux d'étude, citoyens, ...). Dans le cas de OMEGAlpes, on pourra distinguer les développeurs, utilisateurs et les acteurs destinataires des différentes études où l'outil a été mobilisé [15].

Comme évoqué précédemment, un premier apport d'une vision des outils de modélisation énergétique par les communs est la définition de rôles. Si cette définition est alignée avec ce que proposent la plupart des forges logicielles (e.g. Gitlab, Github, ...) pour une communauté de développement collaboratif, l'approche par les communs invite à se doter de temps de délibération autour de ces rôles. Ces temps peuvent également permettre de discuter les orientations et les valeurs du développement de l'outil. Dans le cas de la communauté autour de OMEGAlpes, des rôles sont bien précisés et mis à jour collectivement, et les orientations de développement sont discutées via Gitlab et des temps dédiés. Un récent travail d'explicitation de l'historique des choix de développement et des parties prenantes autour de l'outil est disponible sur la forge gitlab [20] pour être intégré à la prochaine version de la documentation. Ces discussions restent cependant essentiellement dans le cercle des développeurs et utilisateurs ; et l'explicitation des valeurs est encore préliminaire.

3.2. *Les outils de modélisation énergétique pour l'étude de communs énergétiques*

3.2.1. *Science ouverte et intelligibilité*

Dans cette sous-section, nous nous interrogeons sur les apports du concept de communs énergétiques pour l'étude de systèmes énergétiques, en nous demandant : comment s'équiper d'outils de modélisation pour l'étude de communs énergétiques ? Il ne s'agit plus uniquement de considérer l'outil de modélisation comme un commun numérique, mais bien le système étudié comme un commun énergétique, au service duquel se met l'outil. Nous poursuivrons avec l'exemple de l'outil open-source OMEGAlpes.

Commençons par noter que les pratiques de science ouverte favorisent déjà celles de communs énergétiques : la transparence apporte de la fiabilité aux études menées [21], permet de mieux identifier les biais [22], et les contenus sont plus compréhensibles via l'accès aux hypothèses et méthodes de modélisation [23]. Les outils sont plus simples à appréhender et interopérables [24]. L'accessibilité des études améliore ainsi la participation aux processus de décision [25]. L'ouverture offre une équité dans l'accès à la modélisation énergétique, permettant de s'équiper collectivement pour tous publics et en toute région du monde, sans condition de revenus [26]. Leurs fonctionnalités peuvent en outre être plus facilement adaptées et étendues à de nouveaux contextes [27] - pour l'étude de communs énergétiques situés et donc spécifiques. On rejoint les principes du cosmocalisme : une conception collaborative à l'échelle mondiale, et une fabrication locale prenant acte des compétences et ressources locales. Giotitsas et al. l'appliquent aux systèmes énergétiques et soulignent l'intérêt d'une gouvernance basée sur les communs [8].

La réflexion via les communs nous invite toutefois à dépasser la seule transparence, en accompagnant la définition de la communauté et de la gouvernance. Une variété de parties prenantes peut être concernée par le commun énergétique, or un modèle n'est intelligible que pour un public donné. L'utilisation même de modèles numériques engendre un effet boîte noire, que la transparence ne suffit pas à contrecarrer. Il s'agit de choisir un niveau d'abstraction proche de la compréhension du public visé pour le modèle et ses résultats. Cela peut passer par l'utilisation de méta-modèles mettant en lumière les variables influentes pour les acteurs décisionnaires [28], ou encore de représentations visuelles [29]. On prendra garde à expliciter ce que les modèles représentent, mais également ce qu'ils invisibilisent en ne représentant pas. Le cadre des systèmes socio-écologiques d'Ostrom [4], notamment adapté pour les systèmes énergétiques [30], peut offrir une forme d'exhaustivité dans les aspects à considérer.

OMEGAlpes est un méta-modèleur de problème d'optimisation MILP open-source. Il adopte un niveau d'abstraction se rapprochant de la compréhension des acteurs humains avec la formalisation de briques élémentaires pour la construction de modèles énergétiques (e.g. production, consommation), ainsi qu'un formalisme graphique facilité par une interface associée. Ce formalisme ne représente aujourd'hui que les flux énergétiques, invisibilisant une partie significative de la réalité liée aux systèmes énergétiques. Des travaux interdisciplinaires ont permis de modéliser les périmètres de responsabilité

des parties prenantes [31], permettant de visibiliser les acteurs et une part des éléments de gouvernance.

3.2.2. Modélisation énergétique participative

Au-delà de ces éléments d'intelligibilité, se posent de réelles questions d'inclusivité et de démocratie dans les processus de modélisation des systèmes énergétiques, pour une gestion durable de la ressource et des infrastructures associées. Avant même que la modélisation ne soit mobilisée : qui choisit les objectifs de modélisation, et comment ?

La modélisation participative offre des principes permettant de s'équiper pour un accompagnement des communautés et de la gouvernance de communs énergétiques. Par modélisation participative, on entend la participation de concernés non-académiques au processus de modélisation du système énergétique ; pouvant notamment contribuer à la définition de la problématique ou de créer une compréhension et définition mutuelles du problème qui est adressé [32] : on est donc dans un cadre transdisciplinaire. Dans le domaine de l'énergie en particulier, McGookin et al. soulignent que la modélisation participative permet de prendre en compte différents points de vue et d'obtenir une meilleure compréhension du système et des enjeux en identifiant les besoins concrets et les points aveugles. Cela permet en outre d'être plus inclusif et équitable, en développant des solutions actionnables et appropriées socialement. Ces auteurs présentent les modes de mobilisation et d'interactions avec la communauté ; et les opportunités de participation dans les différentes phases du processus de modélisation, distinguant différents niveaux de gouvernance depuis la communication jusqu'à la collaboration [33].

Dans le cas de OMEGAlpes, les développements interdisciplinaires autour de la notion de nœuds socio-énergétiques [31] permettent de faire l'inventaire des concernés, et offrent un terrain favorable à la transdisciplinarité. Des travaux en cours ont permis de mobiliser le formalisme graphique pour une co-construction des modèles de systèmes énergétiques avec les parties prenantes. L'intention étant de développer une compréhension commune autour des systèmes énergétiques étudiés, et des capacités et limites de OMEGAlpes. Des perspectives de ces travaux comprennent la mobilisation de la participation à d'autres étapes du processus de modélisation (e.g. question de recherche) ; et le développement d'un cadre d'évaluation pour qualifier ces pratiques.

4. COMMUNS ET OPEN HARDWARE EN GENIE ELECTRIQUE

4.1. Introduction à l'open hardware

Dans le cas d'objets physiques tels que des systèmes de production ou conversion d'énergie, ou des capteurs ; on peut comparer l'approche par les communs à l'OSH, tel que défini précédemment. Rappelons ici que l'OSH se distingue en trois catégories d'objets techniques : l'électronique, les designs en impression 3D et les objets mécaniques complexes [34].

En regardant l'OSH par le prisme des communs, la ressource est matérielle et informationnelle (plans, instructions d'assemblage, etc.), la communauté peut rassembler les contributeurs, makers, utilisateurs, techniciens, reviewers ou encore enseignants. En ce qui concerne la gouvernance, elle est

définie via une licence pour l'accès et l'utilisation des connaissances liées au dispositif. La gouvernance pourrait ici être élargie à différentes étapes du cycle de vie de l'objet dans une perspective de conception durable et équitable : choix des objectifs de développement en conception, choix du sourcing et de la fabrication, retours sur l'utilisation, la maintenance et la fin de vie. L'organisation de temps dédiés à l'explicitation des aspirations de la communauté peut aller en ce sens.

4.2. Bénéfices potentiels de l'OSH pour la communauté du génie électrique

Selon Reinauer et Hansen, l'OSH a au moins trois bénéfices potentiels qui peuvent motiver son développement et sa diffusion : la réduction des coûts, la création de fonctionnalités inexistantes et le développement d'activité économique [34]. Par exemple, une étude a mis en évidence que la conversion du matériel de recherche en OSH dans le monde universitaire pourrait permettre d'économiser des millions d'euros chaque année sur l'achat d'équipement à l'échelle d'un pays [35]. L'OSH peut également venir en réponse à un besoin spécifique qui n'a pas été couvert par le marché industriel. On peut citer l'exemple des convertisseurs Owntech [13] qui présentent un aspect modulaire jusqu'alors inexistant sur le marché. Ce deuxième aspect couvre également le *détournement* au sens de l'ajout de fonctionnalités à un dispositif existant, tel que le datalogger xKy, qui permet de capter les données de mesure du compteur Linky et proposer ainsi une meilleure résolution temporelle [12].

La durabilité à travers la réparabilité et la simplification de la maintenance sont également pointées comme des avantages [36]. Ces avantages potentiels sont également plébiscités par de nombreux auteurs de la communauté universitaire qui arguent notamment que l'OSH peut favoriser les collaborations dans et en dehors du monde académique [37], [38].

4.3. L'éolienne Piggott : incarnation d'une synergie entre communs et science ouverte

4.3.1 Un réseau de communs outils et objets de recherche

Dans cette section, nous cherchons à montrer que communs et science ouverte peuvent être en synergie. A ce titre, nous prenons l'exemple de l'éolienne Piggott qui a été à la fois outil et objet de recherche pour la thèse d'un des auteurs.

L'éolienne Piggott est une structure d'éolienne à axe horizontale équipée d'une hélice tripale à pas fixe, d'une génératrice synchrone à aimants permanents à flux axial et d'un système d'effacement aérodynamique passif constitué d'un safran sur pivot. Cette structure simple et robuste a été imaginée dans le but de permettre sa construction avec des outils simples

La diffusion du manuel ainsi que du savoir-faire à travers des formations à la construction ont fait émerger une communauté autour de ce design. Cette communauté est principalement rassemblée dans un réseau international comportant plus de 80 organisations à travers le monde, fédéré par l'association Wind Empowerment dont l'un des auteurs est membre. Elle est notamment constituée d'utilisateurs (les « pilotes »), de formateurs qui enseignent la construction de l'éolienne, de praticiens qui gèrent l'installation et parfois la maintenance

ainsi que de scientifiques, qui modélisent et proposent des outils libres.

En termes de gouvernance, l'association Wind Empowerment a établi une charte qui dresse entre autres les principes d'interaction entre les membres de la communauté (partage ouvert de l'information, respects des licences, travail collaboratif, etc.). Cependant, chaque organisation ayant un lien avec l'éolienne Piggott a ses propres règles de gouvernance et n'adhère pas forcément au réseau Wind Empowerment. De fait, on peut dire que la gouvernance est polycentrique. Au niveau des règles de diffusion, la plupart des designs d'éolienne Piggott ne sont pas accessibles via une licence libre mais comme ils ne sont pas brevetés, ils peuvent être répliqués librement et ce sans contrainte sur l'usage [39]. Ainsi, du point de vue des communs, l'éolienne Piggott rassemble une communauté hétérogène autour de différentes ressources informationnelles (manuels, savoir-faire, outils) avec une gouvernance polycentrique. En ce sens, il s'agit plus d'un réseau de communs.

La littérature sur ce réseau de communs est abondante : en 2021, Reinauer et Hansen ont sélectionné 56 publications sur l'éolien auto-construit dont plus de 30 concernent directement l'éolienne Piggott [34]. Ces publications, pour majorité issues de la littérature scientifique, se divisent en quatre catégories : études de cas, manuels, études de marché et rapports techniques. Ce corpus scientifique sur l'éolienne Piggott vient à la fois améliorer la connaissance sur l'objet technique, proposer des améliorations à son sujet mais également nourrir la connaissance fondamentale.

4.3.2. *Illustration des synergies entre communs et science ouverte dans un travail de recherche*

Cette section se base sur la thèse de l'un des auteurs, dans laquelle il a cherché à évaluer l'intérêt du redressement actif pour le petit éolien [40]. L'étude vise à mettre en évidence les compromis entre gains de performance et impacts (environnementaux et sociétaux). L'éolienne Piggott ayant inspiré la problématique de recherche, elle a été choisie comme outil et objet d'étude. Le but ici n'est pas de résumer les résultats de ce travail mais plutôt d'analyser comment la pratique des communs a permis d'enrichir la production scientifique.

Premièrement, dès la phase de formulation de la problématique de recherche, le fait que l'éolienne Piggott soit rattachée à une communauté a permis de prendre du recul sur l'intérêt présumé d'une modification technologique. En effet, la complexification du système électrique via un redresseur actif pourrait ne pas être acceptée par une partie de la communauté et potentiellement nuire à l'appropriation de l'éolienne. Ces questionnements préliminaires ont permis de faire des choix lors de la proposition de modification du système (pas de modification du design mécanique de l'éolienne).

Ensuite, lors de la phase de modélisation physique, un praticien de la région a prêté une génératrice d'éolienne pour réaliser des expériences de caractérisation en laboratoire. Le fait que les informations sur les dimensions et matériaux de la génératrice soient libres a permis de construire un modèle basé sur la géométrie (modèle relucant et éléments finis), qui ont été comparés à l'expérimentation.

Dans la phase de synthèse de loi de commande et d'expérimentation, la communauté a facilité l'accès à un site de tests, ce qui a permis de valider la faisabilité du concept. En retour, le problème d'incertitude sur les paramètres physiques de l'éolienne, associé au fait qu'elle soit auto-construite, a permis de proposer des avancées de recherche plus fondamentales sur l'effet de ces incertitudes sur la commande et les points de fonctionnements de la génératrice.

Dans la phase d'analyse des impacts environnementaux, la réalisation d'un inventaire du cycle de vie a été possible grâce à la liste des matériaux présente dans le manuel de construction, ainsi qu'aux processus de fabrication observés dans les stages d'auto-construction. Des entretiens avec un praticien du réseau a permis d'obtenir des données sur l'approvisionnement des matériaux ainsi que sur des pratiques de dimensionnement (exemple : capacité de la batterie). En retour, l'équipe de recherche a proposé un cadre méthodologique pour l'analyse technico-environnementale du petit éolien et conçu un outil libre en ligne pour faciliter son utilisation par la communauté.

Enfin, dans la phase d'analyse des impacts sociétaux, l'accès à la communauté française du petit éolien auto-construit a rendu possible la réalisation d'une étude sociotechnique basée sur des entretiens semi-directifs avec des *pilotes* d'éolienne. L'analyse des résultats a permis de donner des éléments de réponses à propos du lien entre complexité de la technologie et son appropriation. En retour, un modèle ethnographique de la communauté a été proposé et restitué à celle-ci via la communication d'un rapport et une présentation orale.

4. CONCLUSIONS

Cet article présente la notion de communs et les perspectives qu'elle peut ouvrir pour les pratiques de science ouverte dans le domaine du génie électrique. De manière générale, l'approche par les communs permet de visibiliser la communauté et la gouvernance associée à la ressource étudiée. Nous avons vu comment s'équiper de communs numériques à partir de codes open source, et étudier des communs énergétiques avec le cas de l'outil OMEGAlpes. Puis avons étudié les apports de l'étude d'un commun pour la recherche scientifique avec l'éolienne Piggott : données, moyens expérimentaux, et interactions avec des experts et une communauté d'utilisateurs. Dans l'autre sens, le monde académique peut nourrir les communs en publiant des données de recherche, en proposant des outils, des modifications techniques et analyses à la communauté. Cette analyse inductive et non-exhaustive des apports des communs mérite d'être enrichie et améliorée avec d'autres expériences de recherche, que les auteurs encouragent vivement à la communauté française du génie électrique.

REFERENCES

- [1] Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, « Publications du Baromètre français de la Science Ouverte ». Consulté le: 1 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://barometredelascienceouverte.esr.gouv.fr/publications/disciplines?id=disciplines.dynamique-ouverture>
- [2] E. Ostrom, *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press, 1990.

- [3] S. Helfrich, R. Kuhlen, W. Sachs, et C. Siefkes, « The Commons - Prosperity by Sharing », Heinrich Böll Stiftung, 2010. Consulté le: 14 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.boell.de/en/economy-social/economy-commons-report-10489.html>
- [4] E. Ostrom, « A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems », *Science*, vol. 325, n° 5939, p. 419-422, juill. 2009, doi: 10.1126/science.1172133.
- [5] S. Broca et B. Coriat, « Le logiciel libre et les communs. Deux formes de résistance et d'alternative à l'exclusivisme propriétaire », *Rev. Int. Droit Économique*, vol. t. XXIX, n° 3, p. 265-284, 2015, doi: 10.3917/ride.293.0265.
- [6] T. Bauwens, R. Wade, et M. Burke, « The energy commons: A systematic review, paradoxes, and ways forward », *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 118, p. 103776, déc. 2024, doi: 10.1016/j.erss.2024.103776.
- [7] Coop des Milieux, *Faire communautés énergétiques. Recueil d'expériences à destination du colloque "Les communautés d'énergie"*. 2023. Consulté le: 19 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://fabenergies.org/publications/faire-communautés-energetiques>
- [8] C. Giotitsas, P. H. J. Nardelli, S. Williamson, A. Roos, E. Pournaras, et V. Kostakis, « Energy governance as a commons: Engineering alternative socio-technical configurations », *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 84, p. 102354, févr. 2022, doi: 10.1016/j.erss.2021.102354.
- [9] Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, « Le Plan national pour la science ouverte 2021-2024 : vers une généralisation de la science ouverte en France », 2021. Consulté le: 1 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr/fr/le-plan-national-pour-la-science-ouverte-2021-2024-vers-une-generalisation-de-la-science-ouverte-en-48525>
- [10] S. Hodencq, B. Delinchant, et F. Wurtz, « Open and Reproducible Use Cases for Energy (ORUCE) methodology in systems design and operation: a dwelling photovoltaic self-consumption example », in *Building Simulation 2021*, Bruges, Belgium, sept. 2021. Consulté le: 16 septembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03341883>
- [11] S. Faez et al., *SanliFaez/FAIR-Battery*. (1 janvier 2025). Python. Consulté le: 29 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://github.com/SanliFaez/FAIR-Battery>
- [12] « Jerome Ferrari / xKy · GitLab », GitLab. Consulté le: 18 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/ferrarij/xky>
- [13] « Home - OwnTech Technologies ». Consulté le: 18 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.owntech.io/>
- [14] OSHWA, « Open Source Hardware (OSHW) Definition 1.0 ». Consulté le: 18 décembre 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.oshwa.org/definition/>
- [15] S. Hodencq, « Méthodes et outils pour un processus de modélisation collaboratif et ouvert des systèmes énergétiques », Theses, Université Grenoble Alpes, 2022. Consulté le: 27 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-03809331>
- [16] E. Ostrom, « Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems », *Am. Econ. Rev.*, vol. 100, n° 3, p. 641-672, 2010.
- [17] A. Monnin, É. Tannier, et M. Thomas, « Se réapproprier la production de connaissance », *AOC media - Analyse Opinion Critique*, 17 mai 2023. Consulté le: 22 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://aoc.media/opinion/2023/05/17/se-reapproprier-la-production-de-connaissance/>
- [18] C. Bernault, « "Licences réciproques" et droit d'auteur: l'économie collaborative au service des biens communs? », 2017, [En ligne]. Disponible sur: <https://shs.hal.science/halshs-01562241v1/document>
- [19] S. Hodencq, M. Brugeron, J. Fitó, L. Morriet, B. Delinchant, et F. Wurtz, « OMEGAlpes, an Open-Source Optimisation Model Generation Tool to Support Energy Stakeholders at District Scale », *Energies*, vol. 14, n° 18, p. 5928, janv. 2021, doi: 10.3390/en14185928.
- [20] « OMEGAlpes · GitLab », GitLab. Consulté le: 10 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/omegalpes>
- [21] S. Pfenninger, J. DeCarolis, L. Hirth, S. Quoilin, et I. Staffell, « The importance of open data and software: Is energy research lagging behind? », *Energy Policy*, vol. 101, p. 211-215, févr. 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2016.11.046.
- [22] R. Morrison, « Energy system modeling: Public transparency, scientific reproducibility, and open development », *Energy Strategy Rev.*, vol. 20, p. 49-63, avr. 2018, doi: 10.1016/j.esr.2017.12.010.
- [23] K.-K. Cao, F. Cebulla, J. J. Gómez Vilchez, B. Mousavi, et S. Prehofer, « Raising awareness in model-based energy scenario studies—a transparency checklist », *Energy Sustain. Soc.*, vol. 6, n° 1, p. 28, sept. 2016, doi: 10.1186/s13705-016-0090-z.
- [24] European Commission, « Open Source Software Strategy 2020 – 2023 - Think Open », Brussels, 2020. Consulté le: 21 décembre 2020. [En ligne]. Disponible sur: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/en_ec_open_source_strategy_2020-2023.pdf
- [25] J. F. DeCarolis, K. Hunter, et S. Sreepathi, « The case for repeatable analysis with energy economy optimization models », *Energy Econ.*, vol. 34, n° 6, p. 1845-1853, nov. 2012, doi: 10.1016/j.eneco.2012.07.004.
- [26] S. Pfenninger et al., « Opening the black box of energy modelling: Strategies and lessons learned », *Energy Strategy Rev.*, vol. 19, p. 63-71, janv. 2018, doi: 10.1016/j.esr.2017.12.002.
- [27] S. Hilpert, C. Kaldemeyer, U. Krien, S. Günther, C. Wingenbach, et G. Plessmann, « The Open Energy Modelling Framework (oemof) - A new approach to facilitate open science in energy system modelling », *Energy Strategy Rev.*, vol. 22, p. 16-25, nov. 2018, doi: 10.1016/j.esr.2018.07.001.
- [28] G. Debizet, M. Pappalardo, et F. Wurtz, *Local Energy Communities: Emergence, Places, Organizations, Decision Tools*. Routledge, 2022. Consulté le: 14 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.routledge.com/Local-Energy-Communities-Emergence-Places-Organizations-Decision-Tools/Debizet-Pappalardo-Wurtz/p/book/9781032190662>
- [29] J. Jebeile, *Épistémologie des modèles et des simulations numériques*. 2019. Consulté le: 10 février 2023. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-02355542>
- [30] C. Acosta, M. Ortega, T. Bunsen, B. P. Koirala, et A. Ghorbani, « Facilitating Energy Transition through Energy Commons: An Application of Socio-Ecological Systems Framework for Integrated Community Energy Systems », *Sustainability*, vol. 10, n° 2, Art. n° 2, févr. 2018, doi: 10.3390/su10020366.
- [31] L. Morriet, « Conception multiacteur de systèmes énergétiques locaux bas-carbone : outils, modèles et analyses qualitatives », phdthesis, Université Grenoble Alpes [2020-....], 2021. Consulté le: 16 juillet 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03285666>
- [32] G. Abrami, W. Daré, R. Ducrot, N. Salliou, et P. Bommel, « Participatory modelling », in *The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems*, Routledge, 2021.
- [33] C. McGookin et al., « Advancing participatory energy systems modelling », *Energy Strategy Rev.*, vol. 52, p. 101319, mars 2024, doi: 10.1016/j.esr.2024.101319.
- [34] T. Reinauer et U. E. Hansen, « Determinants of adoption in open-source hardware: A review of small wind turbines », *Technovation*, p. 102289, avr. 2021, doi: 10.1016/j.technovation.2021.102289.
- [35] I. T. S. Heikkinen, H. Savin, J. Partanen, J. Seppälä, et J. M. Pearce, « Towards national policy for open source hardware research: The case of Finland », *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 155, p. 119986, juin 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2020.119986.
- [36] A. Troullaki, K. Latoufis, P. Marques, F. Freire, et N. Hatzigiorgiou, « Life Cycle Assessment of Locally Manufactured Small Wind Turbines and Pico-Hydro Plants », in *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*, 2019, p. 1-6.
- [37] J. M. Pearce, *Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs*. Newnes, 2013.
- [38] M. Oellermann et al., « Open Hardware in Science: The Benefits of Open Electronics », *Integr. Comp. Biol.*, vol. 62, n° 4, p. 1061-1075, oct. 2022, doi: 10.1093/icb/icac043.
- [39] V. Kostakis, K. Latoufis, M. Liarokapis, et M. Bauwens, « The convergence of digital commons with local manufacturing from a degrowth perspective: Two illustrative cases », *J. Clean. Prod.*, vol. 197, p. 1684-1693, oct. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.077.
- [40] A. Prévost, « Pilotage d'une chaîne de conversion active et analyse du cycle de vie pour le petit éolien », PhD Thesis, INSA Lyon, Villeurbanne, 2024.