

Expérimentons Localement  
la Flexibilité Energétique  
2021 - 2024



# RÉSUMÉ EXÉCUTIF

# GENÈSE DU PROJET ET OBJECTIFS INITIAUX

Le projet ELFE a été mené par l'association Énergies citoyennes en Pays de Vilaine (EPV) **de novembre 2021 à octobre 2024**. Il est né de la volonté de favoriser la consommation de l'électricité issue des centrales éoliennes et photovoltaïques citoyennes du territoire de Redon Agglomération et de Pontchâteau Saint-Gildas-des-Bois, tout en réduisant l'injection du surplus dans le réseau et en minimisant l'achat d'électricité complémentaire. À travers la flexibilité rendue possible par le projet, l'hypothèse était d'améliorer l'équilibre énergétique.

L'expérimentation a ainsi cherché à **évaluer la capacité de flexibilité électrique** à partir d'un échantillon d'usagers mis à l'échelle, de manière à se projeter à l'horizon d'un scénario énergétique du territoire où la production électrique serait égale à sa consommation annuelle.

Cet échantillon de participants comportait des **foyers ainsi que des bâtiments tertiaires et industriels**, en ciblant le pilotage d'un nombre restreint d'appareils.

## LES TROIS OBJECTIFS VISÉS :

Modifier le comportement des consommateurs en les incitant :

- à consommer l'électricité au moment où elle est produite localement,
- à engager une démarche de sobriété en réduisant leurs besoins ;

Piloter la consommation en lien avec la production ;

Identifier les besoins de production et de stockage.

Issus de plus d'un an d'expérimentation opérationnelle, les résultats du projet ELFE portent à la fois sur :

- **le volet sociologique** (acceptabilité et mise en œuvre dans les foyers et les entreprises)
- **le volet technique** (appareillage domotique et système numérique).



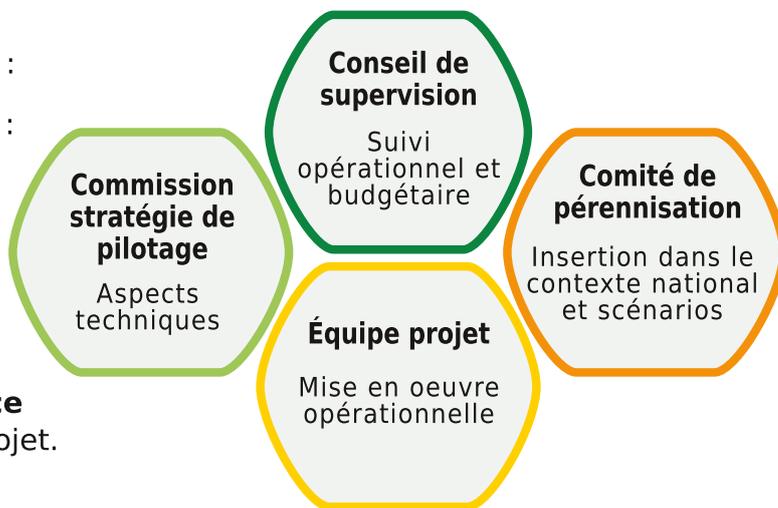
# GOVERNANCE : UN PROJET COLLABORATIF

L'expérimentation a été réalisée par :

• **une équipe projet** qui regroupe :

- deux coordinateurs salariés pour 1,5 ETP\*,
- huit initiateurs bénévoles,
- un animateur sur 16 mois,
- 10 stagiaires.

• **trois instances de gouvernance** composées des partenaires du projet.



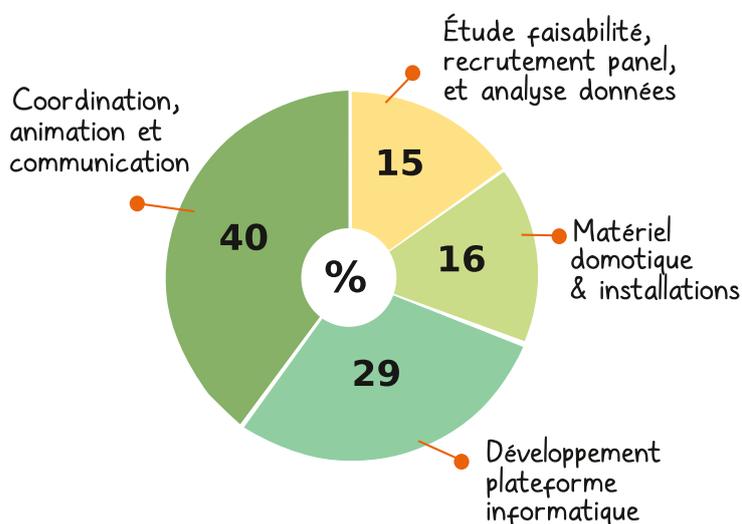
Le rôle des bénévoles initiateurs a été prépondérant dans les orientations et le suivi du projet, dès son origine. **Le temps consacré par les bénévoles équivaut à 1 ETP\*** réparti sur trois ans.

\*Equivalent temps plein

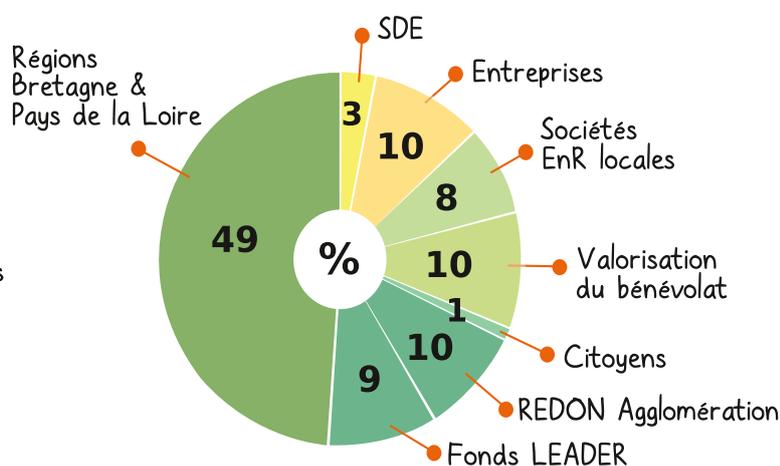
Budget réalisé au 30/09/2024 : **576 100 €** dont :

Contributions bénévoles : **59 700 €**

Répartition des dépenses par catégories



Répartition des recettes par financeurs



# CADRE OPÉRATIONNEL

Le territoire de l'expérimentation a couvert les Etablissements Publics de Coopération Intercommunale de Redon Agglomération et de Pontchâteau Saint-Gildas-des-Bois, avec des sites urbains, péri-urbains et ruraux.

L'expérimentation s'est appuyée sur :

**106** sites de consommation

Panel résidentiel : **95 foyers**

Panel professionnel : **11 structures**  
(collectivités, entreprises, établissements scolaires)



Le panel résidentiel est varié en termes d'âge, de genre ainsi que de catégorie socioprofessionnelle, mais relativement homogène en termes de valeurs relatives à l'engagement dans la transition énergétique et sociétale.

49 foyers ont participé via un pilotage automatisé de leurs appareils par le système de gestion de l'énergie\*) - **le panel connecté**.

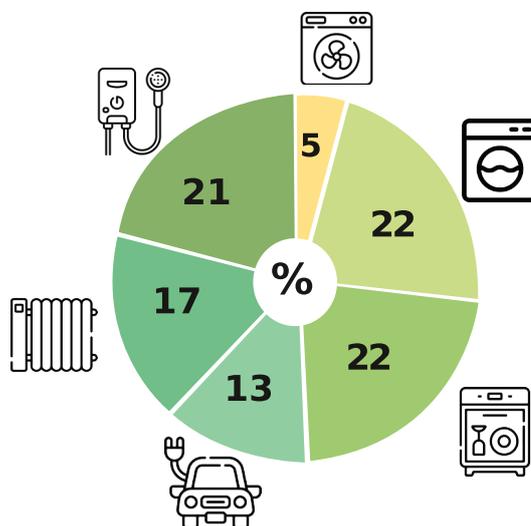
29 ont participé en activant eux-mêmes leurs appareils en s'appuyant sur une information envoyée quotidiennement par le projet - **le panel autonome**.

Les équipements pilotables ont volontairement été circonscrits, en arbitrants la facilité technique de pilotage, le volume d'énergie concerné, et enfin l'acceptabilité au quotidien.

Concernant le panel professionnel, le choix a été fait de ne pas piloter les outils de production, afin de ne pas risquer un impact sur l'activité.

**157** appareils pilotables via l'EMS

Répartition des types d'appareils (en %) -->



\*Energy Management System - EMS

# DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'expérimentation a consisté à piloter ces appareils pour optimiser l'équilibre énergétique du territoire, tout en respectant les consignes ou contraintes exprimées par les participants.

**Un ensemble d'équipements domotiques connectés en WIFI** (prise, doigt-robot, relais) ont permis de mesurer les courbes de charge des appareils, puis de déclencher leur consommation à chaque fois que les utilisateurs les indiquaient à ELFE comme prêts à être démarrés par l'EMS.

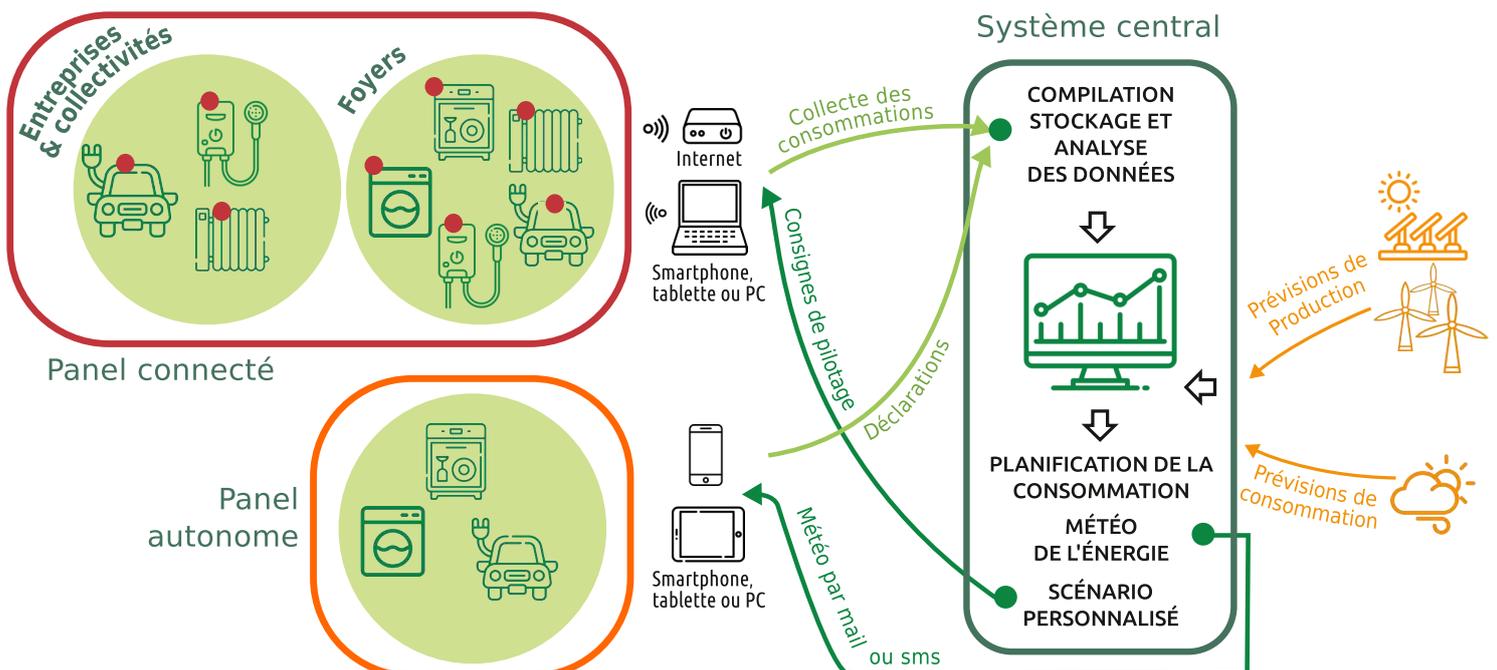


L'architecture générale (*schéma ci-dessous*) se compose des équipements domotiques de chaque foyer ou entreprise et du serveur ELFE, qui comprend :

- un outil d'historisation des consommations,
- un outil de contrôle-commande pour piloter les consommations,
- un outil de prévision de l'équilibre énergétique à venir,
- et un Energy Management System (EMS), orchestrateur de l'expérimentation.

Une interface web, conçue et hébergée par le partenaire Viriya, complète le système.

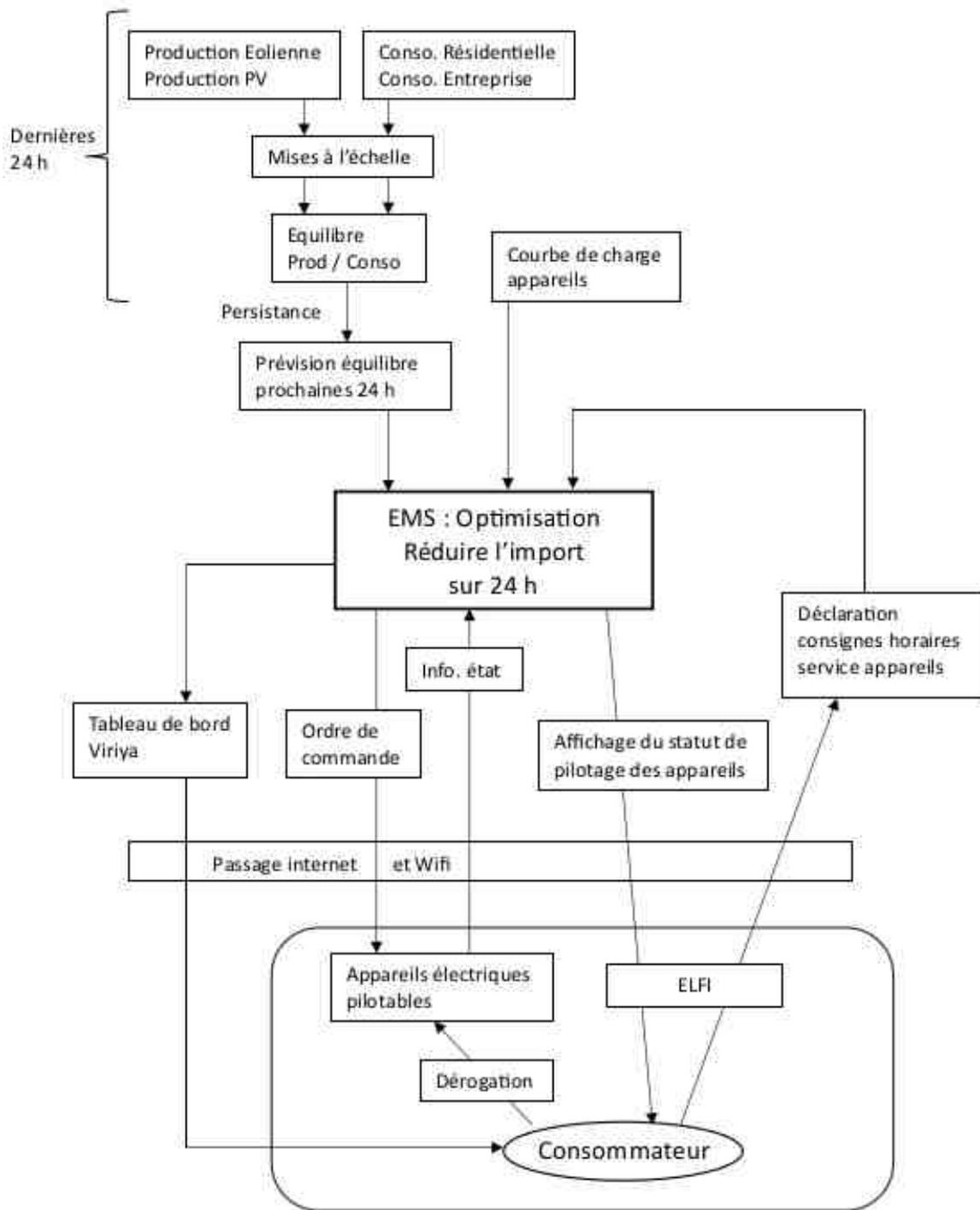
NB : L'ensemble de ces outils sont en logiciel libre, déjà existants ou développés pour le projet.



**L'Energy Management System (EMS)**, logiciel développé sur mesure par l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de Rennes, représente la dimension collective du projet : pour proposer un programme d'activation de l'ensemble des appareils connectés à un instant T, il prend en compte une prédiction d'équilibre sur 24h et une fonction à minimiser : « la somme de l'énergie importée par le territoire sur les prochaines 24h ». Il produit une réponse générale tous les quarts d'heure.

L'EMS a ainsi effectué **50 000** optimisations avec un temps de calcul moyen de 25 ms.

Le fonctionnement général du système est résumé dans le schéma suivant :

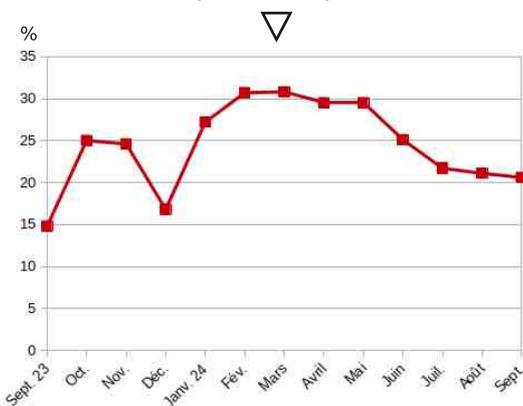


# LA FLEXIBILITÉ EN CHIFFRES

La période d'agrégation des données de consommation et de décalage d'utilisation s'étend de juin 2023 à septembre 2024 pour le panel résidentiel, et de septembre 2023 à septembre 2024 pour le panel professionnel. Les résultats présentés ici intègrent les panels connectés professionnel et résidentiel.

Sur les 95 foyers inscrits et/ou équipés, 49 ont réalisé au moins une action au cours du projet, autrement dit **51 % ont pris part activement au projet**. S'y ajoutent les engagements de 11 sites professionnels connectés. Il y a eu par ailleurs 29 répondants formant le panel autonome, dont 18 agissant dans les deux panels.

Durant l'opération, **25 %** des appareils sont activés en moyenne par Elfe (ci-dessous : répartition par mois).



L'EMS a programmé le lancement de

**17 000** appareils :

- **4 619** appareils à la demande (électroménager et mobilité)
- **12 409** appareils en continu (chauffage et eau chaude sanitaire).

Pour une quantité totale d'énergie optimisée estimée à

**19 860 kWh,**

soit la consommation annuelle de **3 foyers**.

À partir de ces résultats, on peut donc estimer qu'en moyenne ELFE permet d'optimiser **6 %** de la consommation résidentielle, ce qui correspond à l'hypothèse basse initialement formulée dans la phase de prédimensionnement du projet.

En comparaison, le panel autonome a effectué **949** déclarations au total (tous appareils confondus), ce qui équivaut à **680 kWh** optimisés.

Plus de **30 %** des pilotages ont eu lieu pendant la période d'excédent de production, et jusqu'à **66 %** en moyenne sur les 4 mois les plus favorables : ces consommations ont répondu à la consigne du système ELFE pour impacter l'équilibre énergétique local. La quantification de cet impact n'a pas pu être faite de façon satisfaisante durant l'expérimentation, mais ces actions « positives » ont permis d'augmenter la quantité d'énergie produite et autoconsommée par le territoire.

En extrapolant les chiffres de l'échantillon à l'échelle du territoire, on estime à

**33 MWh** le volume annuel de flexibilité actionnable localement\*.

**C'est la démonstration que les contraintes des foyers, toujours prioritaires dans le fonctionnement de ELFE, peuvent être prises en compte tout en gardant la pertinence de la flexibilité résidentielle en tant qu'outil d'équilibrage local des consommations et des productions.**

\*Sur la base du bilan Enedis 2022 du territoire.

# LA FLEXIBILITÉ DANS LES FOYERS

L'expérimentation a permis de confronter les équipements domotiques retenus à une large échelle et à une diversité d'appareils (marques, ancienneté, etc.). Il s'est avéré que **certaines configurations n'étaient pas compatibles avec la domotique prévue**.

Plusieurs limites ont été identifiées :

- Des configurations d'ordre spatial, par exemple des compteurs Linky éloignés du domicile (interdisant le relevé par téléinformation) ;
- Des configurations matérielles, par exemple la présence de panneaux tactiles qui empêchent l'utilisation d'un doigt-robot pour déclencher le lancement de l'appareil par pression sur le bouton *start* ;
- Des comportements individuels, par exemple le fait d'éteindre la WIFI la nuit.



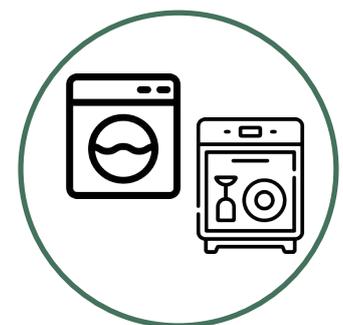
Cet état de fait a réduit le nombre potentiel d'appareils pilotés, d'une part, et a conduit à la création du panel autonome, d'autre part.

**Au sein des foyers**, l'expérimentation nous apprend plusieurs choses :

- La flexibilité est souvent prise en charge par **une seule personne** (homme ou femme), qui doit composer avec les pratiques et usages des autres membres de son foyer ;
- Le projet est porteur de transformation des pratiques, mais **de façon limitée**. Seuls un ou deux appareils identifiés par le participant au moment du recrutement font l'objet d'une modification d'usage. La flexibilité est peu appliquée à d'autres appareils du quotidien ;
- Le suivi et la mise en œuvre de l'expérimentation est souvent **aléatoire**, même parmi les participants les plus motivés.

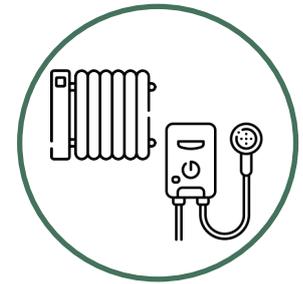
En dehors des ballons d'eau chaude sanitaire et du chauffage, **les appareils qui ont été le plus utilisés dans le cadre expérimental sont les lave-linge et les lave-vaisselle**, pour le panel autonome comme pour le panel connecté.

Cela montre que les participants ont intégré des pratiques de flexibilité contraignantes dans leurs usages quotidiens (pilotage actif nécessitant une déclaration ponctuelle).



# LA FLEXIBILITÉ DANS LES ENTREPRISES

Au sein des entreprises et des collectivités, les résultats sont sensiblement différents. Les appareils nécessitant une démarche active (programmation et lancement) ont été peu actionnés. À l'inverse, les appareils passifs (ballon d'eau chaude sanitaire, chauffage) ont pu être intégrés dans le projet ELFE, ces derniers ne nécessitant pas d'intervention humaine (pilotage direct par l'EMS).



Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

- **La non appropriation** de l'expérimentation par les collaborateurs ;
- **La nécessité de faire évoluer les habitudes de travail** pour des appareils nécessitant une commande (recharge de chariot électrique, par exemple) ;
- **La dilution de la responsabilité du suivi** du fait du cadre collectif ;
- **La (non) priorisation de ce projet** par rapport aux autres tâches à effectuer.

Ainsi, malgré un dispositif opérationnel et la formation et l'accompagnement des usagers, deux des cinq structures disposant d'appareils nécessitant une démarche active (programmation et lancement) ne se sont pas appropriées l'expérimentation, grevant ainsi la remontée de données.

## PISTES D'AMÉLIORATION POUR LA MOBILISATION

Sur la base des principaux retours d'expérience de ELFE et des éléments issus de la littérature scientifique, on peut proposer **six champs d'actions pour recruter, mobiliser et fidéliser** des participants à une expérimentation de flexibilité.

- **L'incitation financière** : proposer une gamme de tarifs de fourniture d'électricité rétribuant la flexibilité (directement ou via une tarification dynamique incitative) ;
- **L'instauration d'une relation de confiance** : assurer les participants sur l'utilisation de leurs données personnelles, et sur leur capacité à rester maître de leurs appareils électroménagers ;
- **Le volet technique** : mettre à disposition des équipements domotiques simples, robustes, faciles d'installation et d'utilisation ;
- **La temporalité** : maîtriser les délais entre le recrutement et la mise en œuvre effective ;
- **La communication** : développer une communication ciblée (données individuelles et montrant les effets sur le collectif), permettant une compréhension des enjeux et une montée en compétence sur les sujets énergétiques ;
- **L'animation territoriale** : accompagner et animer le dispositif de manière suivie.

# PISTES D'AMÉLIORATION POUR LA MOBILISATION (suite)

Concernant plus spécifiquement les entreprises et les collectivités, il nous semble important d'agir de façon ciblée pour s'assurer d'une acceptation large :

- **En incluant la flexibilité dans un ensemble d'actions** au sein de la structure ;
- **En faisant vivre l'expérimentation** via un programme d'animations ;
- **En constituant et formant une équipe en interne** qui s'empare du sujet et le prend en charge (en ne se limitant pas à un interlocuteur unique, en charge de la RSE/RSO, par exemple).

## LA TECHNIQUE AU SERVICE DES CITOYENS

L'expérimentation permet de valider deux principes :

- **Les logiciels libres dans une architecture modulaire**, garants du fonctionnement adapté et évolutif du système ;
- **Des outils domotiques simples**, avec un protocole de communication ouvert et léger, pour rester indépendant des fabricants.

Nous avons également mis en lumière **quatre directions d'amélioration technique** :

- Une « box domotique » peut simplifier l'installation dans les foyers et rendre le système plus résilient ;
- Le déclenchement des flexibilités sur les appareils bénéficierait d'actionneurs (outils de commande) plus universels, ou d'un protocole commun à établir avec les fabricants d'électroménager ;
- La météo de l'énergie pourrait être optimisée, plus réaliste (et donc mieux mobilisée) en prenant davantage en compte des prévisions fiables de production et de consommation ;
- L'interface utilisateur (web et écran connecté) peut gagner en convivialité et en appropriation via une démarche de design participatif.

# PERSPECTIVES



ELFE a démontré la possibilité de mise en œuvre de la flexibilité électrique au niveau résidentiel au-delà du pilotage des appareils passifs, dans le cadre d'une expérience citoyenne territoriale reposant sur des outils en libre accès.

L'expérimentation a permis d'identifier un certain nombre de limites et de freins en termes techniques et d'acceptabilité. Cela nous permet d'envisager les hypothèses à travailler et les leviers à activer pour un passage de cette expérience initiale à un échantillon plus conséquent.

**En ce sens, ELFE n'est qu'une première étape.**

Au vu des enjeux nationaux et des scénarios 2030 et 2050 sur les efforts à fournir en termes d'électrification et de sobriété, dans le cadre du développement des énergies renouvelables variables, **la flexibilité diffuse résidentielle est un levier essentiel à activer à côté des autres gisements** déjà connus (industriels et tertiaires).

Outre son potentiel de réduction d'utilisation d'énergie carbonée (et potentiellement d'économie tarifaire pour le consommateur), la flexibilité résidentielle permet de sensibiliser et, nous l'espérons, d'enclencher **une évolution des comportements vers davantage de sobriété.**

Énergies citoyennes en Pays de Vilaine n'a évidemment pas vocation à adresser seule cette problématique. Elle s'inscrit en cela dans plusieurs réseaux locaux, nationaux et européens. Elle contribue par son approche de démonstrateur à tracer un chemin et à essaimer par le partage d'expérience.



# MERCI !

L'équipe projet remercie vivement  
l'ensemble des partenaires institutionnels, privés,  
universitaires et techniques  
qui ont contribué à rendre possible  
ELFE.

Ce projet n'aurait pas été possible sans l'implication de  
tous les panélistes bénévoles connectés et autonomes.

Pour des raisons de respect des règles de  
confidentialité, il ne nous est pas possible de les citer  
nommément, mais toute l'équipe vous est  
reconnaissante de votre enthousiasme,  
de votre engagement, de votre bienveillance  
et de votre patience.



## Avec l'appui des réseaux



## et le soutien des bienfaiteurs

Annick BULTHÉ  
Michel CARRÉ  
Patrick CHAUSSÉ  
Marie-Thérèse ÉTRILLARD

Louis GACHENOT  
Jean-Claude GARABOS  
Annie GEFFRAY  
Philippe GUILLOUËT

Loïc JOUËT  
Michel LECLERCQ  
Michel OLLIVIER  
Jean-Jacques ROUCOULES



Énergies citoyennes  
en Pays de Vilaine  
association



7 rue Saint-Convoïon - 35600 REDON  
02 99 72 39 49

[www.projet-elfe.fr](http://www.projet-elfe.fr)