

Quantification de la flexibilité énergétique résidentielle : vers un indicateur robuste et mobilisable à partir de données déclaratives

Olga ROUCHOUZE¹, Jonathan COIGNARD², Frédéric WURTZ³, Béatrice ROUSSILLON⁴

^{1,2,3} Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP*, G2Elab, 38000 Grenoble, France. ⁴ Univ. Grenoble Alpes, CNRS, INRAE, Grenoble INP*, GAEL, 38000 Grenoble, France.

RESUME - Cet article propose une méthode simplifiée pour évaluer et appliquer concrètement le potentiel de flexibilité énergétique résidentielle dans les communautés énergétiques locales, où la modulation des usages constitue un levier essentiel pour l'intégration des énergies renouvelables intermittentes. Nous avons conçu un indicateur de flexibilité, qui repose sur des données statiques facilement collectables, telles que l'usage déclaré d'équipements électroménagers dits flexibles. Il permet ainsi une estimation rapide et accessible du potentiel de flexibilité des foyers. Validée par comparaison avec une méthode de référence fondée sur l'analyse de données désagrégées, notre approche atteint un taux de correspondance de 88,6 % pour le classement des foyers en deux groupes : les plus et les moins flexibles.

Conçu comme un outil à la fois éducatif et opérationnel, cet indicateur est associé à un questionnaire concis, centré sur les usages effectifs des équipements. Il est destiné à être utilisé dans le cadre d'ateliers d'animation, afin d'accompagner les participants dans la compréhension de leurs usages énergétiques, d'engager des discussions sur leurs pratiques quotidiennes, et de construire une dynamique collective autour de la flexibilité résidentielle. Cette démarche vise à créer les conditions d'une appropriation locale des enjeux énergétiques, en combinant un outil de mesure simplifié avec un dispositif d'échange et de réflexion collective. Elle ouvre également des perspectives pour le développement de stratégies adaptées aux besoins locaux et pour une adoption plus large des solutions de flexibilité au sein des communautés énergétiques.

Mots-clés — *Flexibilité indirecte, charges flexibles, autoconsommation collective, communauté énergétique, énergies renouvelables.*

1. INTRODUCTION

L'intégration des énergies renouvelables intermittentes au sein des communautés énergétiques locales repose en grande partie sur la capacité des usagers à faire preuve de flexibilité dans leur consommation électrique. Cette flexibilité, définie comme l'aptitude à moduler ou à déplacer les usages dans le temps [1], constitue un levier essentiel pour optimiser l'autoconsommation collective et assurer un bon dimensionnement des systèmes énergétiques locaux. En effet, la littérature montre que la flexibilité est l'une des caractéristiques fondamentales d'un système énergétique intégrant une part élevée d'électricité renouvelable variable, conditionnant directement la conception, le déploiement

technologique et la planification des infrastructures [2]. Elle constitue également un levier de coordination et de gouvernance à l'échelle locale, notamment au sein des communautés énergétiques, lorsqu'elle s'appuie sur des outils compréhensibles et adaptés aux spécificités des territoires [3].

Pourtant, sa quantification reste aujourd'hui complexe : la majorité des approches proposées s'appuient sur des données désagrégées, des modèles thermiques avancés, des algorithmes d'optimisation ou encore des simulations dynamiques intégrant des variables contextuelles fines (préférences de confort, tarifs dynamiques, données météorologiques...). Ces méthodes requièrent souvent des dispositifs de mesure installés sur chaque appareil, des bases de données détaillées, et des outils de calcul spécialisés, rendant leur mise en œuvre difficile en dehors de contextes experts. Par exemple, Hekmat et al. [4] introduisent la notion d'enveloppe de flexibilité, définies comme l'ensemble des profils de consommation possibles pour un ménage donné, sur un pas de temps donné, en tenant compte de contraintes techniques et comportementales. La construction de ces enveloppes nécessite des séries temporelles fines, des historiques d'usage, ainsi que des algorithmes de prédiction basés sur l'apprentissage automatique. Luo et al. [1], quant à eux, recensent des approches s'appuyant sur la modélisation thermique des bâtiments, le couplage à des données météorologiques fines, ou encore l'optimisation dynamique à partir de prix du marché. Ils soulignent que les modèles physiques dits *white-box* ou les approches *data-driven* nécessitent des jeux de données massifs, coûteux à collecter, et difficilement accessibles pour des acteurs non experts. Ces exemples illustrent la richesse méthodologique des travaux académiques, mais aussi la barrière que constitue leur complexité pour des utilisateurs non spécialistes, limitant fortement leur répliquabilité et leur appropriation dans des démarches collectives ou collaboratives (exemples : gouvernance participative ou mobilisation citoyenne).

Face à ces limitations, nous avons développé un indicateur simplifié de flexibilité énergétique résidentielle, conçu pour être compréhensible et mobilisable par un large public. Il s'inscrit dans une approche dite de flexibilité directe, au sens où la modulation des usages repose sur des choix explicites des

usagers, identifiés à partir de déclarations simples portant sur l'usage d'équipements spécifiques. Cette définition s'oppose à celle de la flexibilité indirecte, qui mobilise des dispositifs de pilotage automatisés fondés sur des données contextuelles dynamiques (signaux de prix, météo, confort, etc.) sans intervention directe des individus [5].

Concrètement, l'indicateur repose sur un volume réduit de données déclaratives : l'usage ou non d'un ensemble restreint d'appareils électroménagers dits « flexibles ». Combinée à des hypothèses de consommation standardisées, cette information permet d'estimer le potentiel de flexibilité des foyers sans recourir à des mesures instrumentées en temps réel. Dans des travaux précédents présentés à la conférence CIRED [6], nous avons validé cette approche sur la base REFIT, en montrant une concordance de 80 % avec une méthode de référence fondée sur des données désagrégées à haute résolution.

Dans cette nouvelle étude, nous appliquons notre méthode à une seconde base de données, la base IDEAL, afin d'en éprouver la robustesse sur un panel plus large de foyers. L'objectif est double : évaluer la validité de notre indicateur dans un nouveau contexte et discuter des conditions pratiques de sa mise en œuvre, en particulier dans une perspective d'animation participative au sein d'une communauté énergétique. Pour cela, nous avons conçu un questionnaire court et accessible, en vue d'un usage futur dans le cadre d'ateliers collaboratifs.

2. MÉTHODOLOGIE

Cette étude compare deux approches de quantification de la flexibilité électrique des foyers : une méthode simplifiée reposant sur une enquête déclarative portant sur la présence d'équipements flexibles, et une méthode de référence fondée sur l'accès aux données de consommation désagrégées pour chaque appareil. Nous évaluons leur concordance en comparant le classement des foyers selon leur potentiel de flexibilité, afin de vérifier si les plus flexibles sont identifiés de manière similaire par les deux approches.

2.1. Méthode simplifiée

Notre méthode repose sur une classification des équipements électroménagers en deux catégories : les appareils flexibles et les appareils non flexibles. Les équipements dits flexibles sont ceux dont l'usage peut être modulé ou décalé dans le temps, notamment pour coïncider avec les périodes de production d'énergie renouvelable. Cela inclut les appareils à cycles (lave-linge, lave-vaisselle, chauffe-eau, radiateurs électriques), les véhicules électriques, ainsi que certains équipements programmables (par exemple, les machines à laver). À l'inverse, les appareils fonctionnant en continu ou nécessitant un usage immédiat (réfrigérateurs, congélateurs, appareils de cuisson, éclairage, équipements multimédias) sont considérés comme non flexibles.

La méthode simplifiée repose sur des statistiques standardisées donnant la consommation annuelle moyenne (en kWh/an) de chaque type d'appareil flexible pour un usage typique. En sommant ces consommations estimées pour les équipements déclarés par chaque foyer, et en appliquant d'éventuels ajustements liés aux usages, on obtient une estimation du

volume d'énergie flexible disponible. Cette quantité constitue le fondement de l'indicateur de flexibilité, tel que défini par l'équation (1) :

$$E_{estimée} = \sum_{j=1}^M E_{stat,j} + \alpha \times u \quad (1)$$

Avec :

- $E_{stat,j}$ est la consommation annuelle (en kWh) de l'équipement flexible j , estimée à partir de données statistiques moyennes,
- M est le nombre d'équipements flexibles présents dans le foyer,
- u correspond au nombre d'occupants du foyer,
- α est un coefficient de pondération qui permet d'ajuster le score en fonction de l'usage supposé lié au nombre de personnes.

En s'affranchissant des données dynamiques et en se fondant exclusivement sur des informations déclaratives simples telles que la présence d'équipements et la taille du foyer, cette méthode permet de produire un indicateur de flexibilité rapide à calculer, facile à comprendre et directement mobilisable. Sa légèreté méthodologique en fait un outil particulièrement adapté à une utilisation dans des contextes non experts ou participatifs.

2.2. Méthode de référence

Cette méthode repose sur l'analyse des données de consommation électrique désagrégées par appareil, ce qui permet une estimation fine du potentiel de flexibilité. L'énergie flexible est calculée à partir de la puissance mesurée dans le temps pour les seuls équipements considérés comme flexibles, selon l'équation suivante (2) :

$$E_{référence} = \sum_{j=1}^M \sum_{t=1}^T P_j(t) \cdot \Delta t \quad (2)$$

Où :

- $P_j(t)$ est la puissance (en watts) consommée par l'appareil flexible j à l'instant t ,
- T est le nombre total d'instant de mesure sur un pas de temps Δt ,
- Δt est le pas de temps entre deux mesures en secondes,
- M est le nombre d'équipements flexibles présents dans le foyer.

Cette approche permet une évaluation précise du potentiel de flexibilité en tenant compte de la variabilité temporelle des usages et des consommations. Elle se distingue par sa granularité, offrant une vision détaillée de la contribution de chaque appareil flexible à la demande totale. Néanmoins, elle nécessite des données désagrégées par équipement, généralement collectées via des dispositifs de mesure spécifiques (capteurs connectés). Si elle constitue une

référence robuste pour comparer et caractériser la flexibilité énergétique, sa complexité limite toutefois son application dans des contextes locaux ou participatifs.

2.3. Indicateur de performance

Le classement des foyers est établi en triant les potentiels de flexibilité énergétique $E_{estimée}$ et $E_{référence}$ calculés par les deux méthodes. Une fois ce tri effectué, les foyers sont répartis en deux groupes de taille égale, afin de distinguer les plus flexibles des moins flexibles, selon une logique simple et parlante :

- Cluster 1 (C_1) : les 50 % des foyers ayant le plus fort potentiel de flexibilité
- Cluster 2 (C_2) : les 50 % des foyers ayant le plus faible potentiel.

Ce choix d'un découpage binaire (plutôt qu'en trois classes, par exemple) est motivé par des considérations de lisibilité et par des principes issus de la communication comportementale. Il est en effet plus simple de mobiliser les citoyens autour d'une comparaison directe à la moyenne, avec des formulations évocatrices telles que « dans le top 50 % » ou « dans le bas 50 % », que de leur expliquer une position intermédiaire souvent moins signifiante et actionnable. Ce principe a notamment été mis en évidence dans les travaux d'Allcott et Rogers [7], qui ont montré l'efficacité des comparaisons sociales dans les dispositifs de sensibilisation à la consommation d'énergie

Afin d'évaluer la cohérence entre les classements issus des deux méthodes, nous avons développé un indicateur de performance basé sur une métrique de similarité. La similarité entre les deux classements est mesurée selon la formule suivante (3) :

$$S = \frac{|C_{1,ref} \cap C_{1,est}| + |C_{2,ref} \cap C_{2,est}|}{N} \times 100 \quad (3)$$

Où :

- $C_{1,ref}$ et $C_{2,ref}$ désignent les clusters 1 et 2 définis à partir de la méthode de référence,
- $C_{1,est}$ et $C_{2,est}$ désignent les clusters obtenus avec la méthode simplifiée,
- $|C \cap C|$ est le nombre de foyers correctement assignés au même cluster par les deux méthodes,
- N est le nombre total de foyers étudiés.

Le score final S , exprimé en pourcentage, mesure ainsi le degré d'accord entre les deux classements. Il indique ainsi combien de foyers sont correctement attribués au même groupe par les deux méthodes. Ce critère permet de vérifier si l'approche simplifiée est capable d'identifier les mêmes catégories de foyers que la méthode de référence, tout en assouplissant l'exigence d'un classement strictement identique. Cette formulation plus simple reste pertinente pour communiquer sur la flexibilité énergétique, tout en étant compatible avec un indicateur accessible, tel que celui que nous proposons.

3. RÉSULTATS

3.1. Données

Cette étude repose sur un sous-échantillon de 39 foyers issus de la base de données IDEAL [8], pour lesquels des mesures désagrégées de consommation électrique par appareil sont disponibles avec une granularité allant d'une à huit secondes. Pour garantir la fiabilité des analyses, seuls les appareils disposant d'au moins 31 jours consécutifs de données exploitables ont été conservés. Un équipement manifestement aberrant, un lave-vaisselle présentant une consommation annuelle supérieure à 10 MWh, a également été exclus. Après application de ces filtres, l'échantillon final retenu pour l'analyse comprend 35 foyers. Ces données détaillées constituent le socle de la méthode de référence, permettant de reconstituer les profils de consommation réels des équipements flexibles et d'estimer précisément le potentiel de flexibilité de chaque foyer.

La méthode simplifiée repose sur des données statiques issues des informations complémentaires disponibles dans la base IDEAL, notamment la présence ou non de certains équipements électroménagers au sein des foyers. Ces données, non issues de capteurs mais de métadonnées associées aux logements, permettent d'identifier les appareils considérés comme flexibles. À chaque appareil est associée une estimation de sa consommation annuelle standard (en kWh/an), issues du rapport de l'ADEME sur les usages électrodomestiques en France [9], et répertoriées dans le Tableau 1. La consommation flexible annuelle estimée par foyer est calculée en sommant les consommations unitaires correspondant aux équipements déclarés comme présents. Cette estimation repose sur des valeurs moyennes standardisées, sans prise en compte de la fréquence d'usage propre à chaque foyer, ce qui peut introduire un certain écart avec les usages réels. Cette approche permet de calculer un indicateur de flexibilité sans recourir à des mesures dynamiques, et ouvre ainsi la voie à une future application via un simple questionnaire. L'approche inclut également un facteur d'ajustement lié à l'occupation du logement, afin de mieux refléter les usages spécifiques associés à la taille des foyers dans le calcul du potentiel de flexibilité.

Tableau 1. Consommations annuelles standards des appareils flexibles listés dans le panel des foyers

Appareil flexible	Consommation électrique annuelle estimée (kWh / an)
Lave-vaisselle	192
Lave-linge	101
Sèche-linge	301
Chauffage électrique	4312
Déshumidificateur	711

3.2. Classements avec les deux méthodes

Les résultats obtenus sur les 35 foyers de la base IDEAL montrent une forte concordance entre les deux méthodes de classement, fondées respectivement sur l'indicateur simplifié et sur la méthode de référence. Le score global de similarité atteint 88,6 %, ce qui signifie que 31 foyers sur 35 sont classés

de manière identique dans le groupe des plus flexibles ou des moins flexibles (Figure 1).

Les quatre foyers mal classés présentent des profils spécifiques expliquant les divergences entre méthodes. La maison 136 illustre les limites d'une approche purement déclarative, qui surestime le potentiel de foyers peu consommateurs mais bien équipés. À l'inverse, les maisons 65 et 105 présentent un nombre limité d'équipements considérés comme flexibles selon notre typologie, ce qui explique leur score faible dans la méthode simplifiée. Pourtant, les données désagrégées révèlent un usage relativement intensif de ces quelques équipements, notamment la machine à laver, qui les positionne plus haut dans le classement de référence. Ce décalage souligne une limite de la méthode simplifiée : elle repose uniquement sur la présence d'équipements, sans tenir compte de leur fréquence d'usage, ce que seule la méthode instrumentée permet de capturer.

La maison 106 se situe au voisinage de la frontière entre les deux clusters, ce qui la rend sensible à de légères variations de classement entre les deux méthodes. Équipée d'un seul appareil flexible mais avec un usage non négligeable, elle illustre comment des profils intermédiaires peuvent être reclassés en fonction de la granularité de l'approche. Ces cas soulignent que les écarts ne sont pas aléatoires, mais reflètent des situations limites liées aux hypothèses simplificatrices du modèle.

À l'inverse, plusieurs foyers extrêmes sont très bien identifiés par les deux approches. C'est le cas notamment des maisons 140, 90, 225 et 262, qui ne disposent d'aucun appareil flexible déclaré et qui sont systématiquement classées en bas du classement. À l'autre extrémité, la maison 227, qui dispose de quatre équipements flexibles, se situe parmi les tout premiers foyers dans les deux classements. Cette cohérence souligne la capacité du modèle simplifié à détecter les foyers les plus modulables.

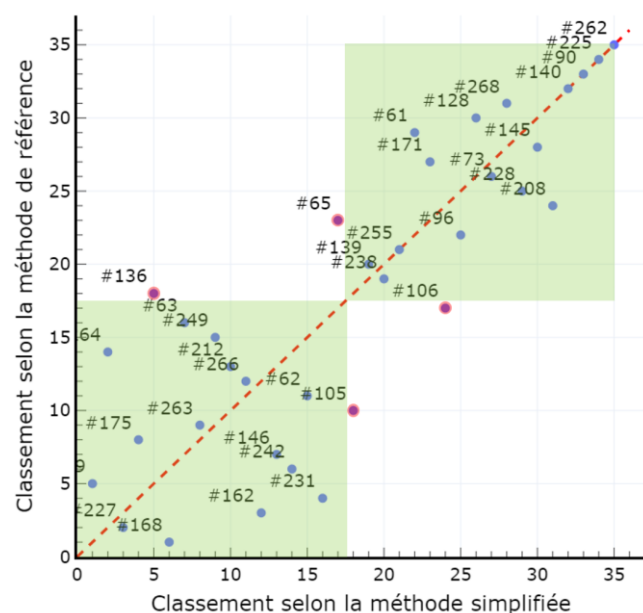


Fig. 1. Concordance des classements de foyers par la méthode de référence et la méthode simplifiée ($\alpha = 0$, sans pondération par occupation)

Certains cas intermédiaires confirment aussi la robustesse globale de l'indicateur. Les maisons 146 et 268, qui ne possèdent chacune qu'un seul appareil flexible, se retrouvent logiquement dans le bas du classement avec les deux méthodes. De même, les maisons 263 et 62, qui disposent de deux appareils flexibles, conservent une position stable entre les deux classements, ce qui suggère que l'indicateur simple est pertinent pour caractériser ces profils moyens.

Enfin, le cas de la maison 168 illustre une situation plus nuancée. Bien qu'elle ne dispose que de deux appareils flexibles identifiés, elle figure dans le haut du classement dans les deux méthodes. Cela peut s'expliquer par un nombre élevé d'occupants, impliquant une fréquence d'usage probablement plus élevée que la moyenne. Cela renforce l'intérêt d'un futur ajustement pondéré par la taille du foyer dans l'indicateur, pour mieux refléter les dynamiques d'usage domestique.

Cette concordance élevée de 88,6% entre les deux classements obtenus indique que l'approche simplifiée, bien que fondée uniquement sur des données statiques, parvient globalement à distinguer les foyers à fort potentiel de flexibilité de ceux qui en présentent peu. Ces résultats montrent que si l'approche simplifiée ne restitue pas toutes les nuances d'usages, elle permet néanmoins d'identifier de manière robuste les foyers à fort potentiel de flexibilité, à partir d'un nombre réduit d'informations statiques. Sur la base de l'étude présentée dans cet article, elle constitue ainsi un outil fiable pour une évaluation rapide de la flexibilité résidentielle, y compris dans des contextes où seules des données déclaratives sont accessibles.

3.3. Analyse de sensibilité

Afin d'évaluer l'influence du nombre d'occupants sur le potentiel de flexibilité estimé, une analyse de sensibilité a été menée sur le paramètre α , qui pondère la taille du foyer dans l'indicateur simplifié. Ce coefficient, appliqué de façon additive à la somme des consommations annuelles standardisées, vise à mieux refléter l'intensité d'usage des équipements dans les foyers plus peuplés.

Toutefois, les résultats obtenus sur notre échantillon de 35 foyers issus de la base IDEAL montrent que cette approche ne permet pas d'améliorer la performance du modèle. Comme illustré en Figure 2, le score de classification décroît rapidement à mesure que la valeur de α augmente, passant de 88,6 % à environ 65 %, sans tendance claire permettant d'identifier un optimum. Au-delà de $\alpha = 600$, les scores restent stables autour de 70 %.

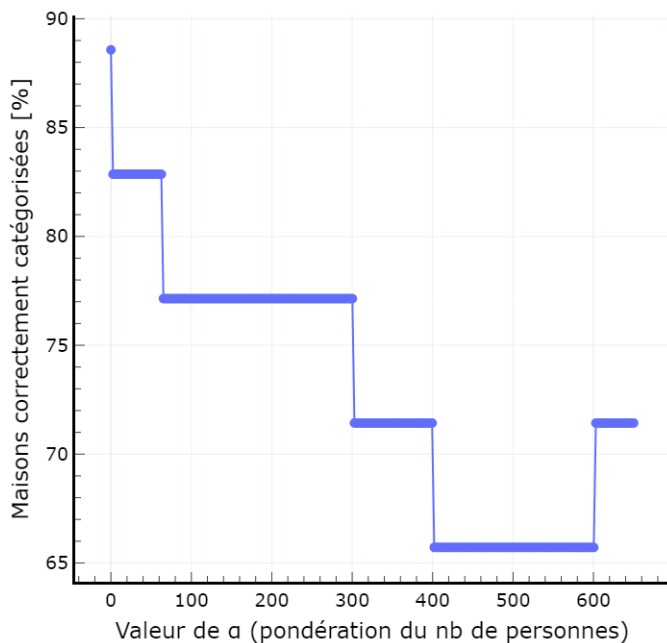


Fig. 2. Impact de la pondération par le nombre d'occupants (α) sur la performance du classement

Cette instabilité s'explique par une distribution déséquilibrée de la taille des foyers dans l'échantillon analysé : 68,6 % des logements comptent un ou deux occupants, contre seulement 11,5 % pour quatre personnes ou plus. L'introduction d'une pondération linéaire par le nombre d'occupants ($\alpha \times u$) dans un tel contexte tend à accentuer l'influence de quelques foyers atypiques, ce qui dégrade la qualité globale du classement. Autrement dit, dans cet échantillon, le renforcement du poids des foyers les plus peuplés conduit à des reclassements moins cohérents avec les données de référence. En particulier, les foyers les plus peuplés sont alors systématiquement surévalués par le modèle, ce qui dégrade la qualité du classement global.

En l'absence d'un jeu de données suffisamment équilibré en termes de tailles de foyers, il a donc été décidé de ne pas activer cette pondération dans le calcul final de l'indicateur. Dans le cadre de cette étude, la pondération liée au nombre d'occupants n'a pas été utilisée. L'indicateur repose donc uniquement sur la somme des consommations annuelles estimées des appareils flexibles présents.

3.3. Vers une application terrain : conceptions du questionnaire et de l'atelier d'animation autour de l'indicateur

L'organisation des résultats en deux clusters (foyers les plus flexibles / les moins flexibles) ouvre la voie à une utilisation concrète de l'indicateur dans des contextes participatifs. Ce découpage binaire, qui permet d'atteindre un score de similarité de 88,6 % avec la méthode de référence, facilite la mise en discussion des résultats auprès d'un public non expert. Il permet une lecture simple, actionnable et compréhensible : « vous êtes dans les 50 % les plus flexibles », sans nuire à la robustesse de l'analyse. Ce choix méthodologique reflète un compromis volontaire entre rigueur et accessibilité, essentiel pour initier des démarches collectives autour de la gestion énergétique locale.

Dans cette perspective, nous avons conçu un questionnaire volontairement concis, destiné à recueillir de manière fiable et rapide les informations nécessaires au calcul de l'indicateur. Trois éléments sont demandés aux participants : le nombre de personnes vivant dans le foyer, leur âge, et l'usage effectif d'une série d'équipements électroménagers considérés comme flexibles. Par exemple : « Utilisez-vous un lave-vaisselle ? », réponse oui / non. Ce choix de formulation « utilisez-vous » plutôt que « possédez-vous » vise à éviter la surévaluation liée à la simple présence d'un équipement non utilisé (en panne, stocké...). La liste se limite volontairement aux seuls appareils pertinents pour notre indicateur, ce qui permet de réduire la longueur du questionnaire et de maximiser son acceptabilité.

À partir de cet outil, nous avons conçu un atelier d'animation structuré en trois temps. Dans un premier temps, les participants sont invités à se positionner eux-mêmes sur une échelle de flexibilité, en estimant leur propre capacité à décaler ou moduler leurs usages. Ce moment d'auto-positionnement, réalisé de manière visuelle (par exemple sous forme de frise ou d'activité de placement physique), permet de rendre visibles les perceptions individuelles et d'initier une discussion collective autour des comportements liés à l'énergie. Dans un second temps, les participants remplissent le questionnaire, ce qui nous permet de calculer leur classement objectivé selon leur potentiel grâce à notre indicateur. La comparaison entre leur première perception et notre métrique est ensuite mise en discussion collectivement. Ce type de confrontation entre perception individuelle et évaluation chiffrée peut contribuer à un ajustement cognitif et comportemental, comme l'illustre Ariely [10] dans ses travaux sur les écarts entre croyances subjectives et données objectives. Enfin, dans un troisième temps, chaque participant peut se repositionner en fonction des efforts qu'il serait prêt à consentir : « Je peux reporter une machine à laver, mais pas un lave-vaisselle », ou « je suis prêt à utiliser certains équipements la nuit ». Cette dernière phase, qui introduit la notion d'engagement, donne lieu à un troisième classement, cette fois fondé sur des intentions déclarées.

L'objectif de l'atelier est double : pédagogique, en favorisant la compréhension de la notion de flexibilité et la prise de conscience de ses leviers ; et opérationnel, en identifiant les marges de manœuvre concrètes de chaque foyer. Au-delà de la production d'un indicateur, l'atelier vise à favoriser les échanges entre participants et à initier une dynamique collective autour des enjeux énergétiques. En cela, il s'inscrit dans les approches de co-construction et d'autonomisation qui structurent aujourd'hui les démarches participatives au sein des communautés énergétiques locales.

4. CONCLUSIONS

Cette étude confirme la robustesse d'un indicateur simplifié de flexibilité énergétique résidentielle, déjà validé sur une première base, en le testant cette fois-ci sur la base de données IDEAL. Avec un score de concordance de 88,6 % obtenu sur un classement binaire en deux groupes (50 % des foyers les plus flexibles / 50 % des foyers les moins flexibles), l'indicateur démontre sa capacité à identifier de manière fiable les foyers les plus flexibles à partir de données statiques minimales. Le résultat est atteint en s'appuyant uniquement

sur des données statiques et un modèle simplifié, sans instrumentation ni modélisation avancée.

Afin d'envisager une mise en œuvre opérationnelle de cet outil, nous avons conçu un questionnaire synthétique, accessible à tous, centré sur les usages réels d'équipements électroménagers flexibles uniquement. Cette approche vise à déployer l'indicateur dans des contextes participatifs, au sein de communautés énergétiques locales. L'atelier d'animation associé, structuré autour de trois classements successifs (auto-positionnement, indicateur simplifié, engagements futurs), a pour objectif de susciter une prise de conscience, d'ouvrir un espace de dialogue entre habitants et de renforcer leur pouvoir d'agir sur leur consommation.

Au-delà de la seule mesure de flexibilité, ce dispositif propose une manière renouvelée de mobiliser les citoyens autour des enjeux de transition énergétique, en alliant pédagogie, co-construction et action collective. Les prochaines étapes consisteront à tester cet atelier sur le terrain, à en évaluer la réception et à affiner les leviers d'engagement identifiés.

5. REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-22-PETA-0009 pour le projet FlexTASE.

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-15-IDEX 02 dans le cadre du projet Observatoire de la Transition

Energétique.

6. RÉFÉRENCES

- [1] Z. Luo, J. Peng, J. Cao, et al., « Demand Flexibility of Residential Buildings: Definitions, Flexible Loads, and Quantification Methods », *Engineering*, vol. 16, p. 123–140, janv. 2022.
- [2] P. D. Lund, J. Lindgren, J. Mikkola et J. Salpakari, « Review of Energy System Flexibility Measures to Enable High Levels of Variable Renewable Electricity », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, p. 785–807, mai 2015.
- [3] G. Debizet, M. Pappalardo et F. Wurtz (dir.), *Local Energy Communities: Emergence, Places, Organizations, Decision Tools*, Routledge, 2022, ISBN 9781032190662.
- [4] N. Hekmat, H. Cai, T. Zufferey, G. Hug et P. Heer, « Data-Driven Demand-Side Flexibility Quantification: Prediction and Approximation of Flexibility Envelopes », in *2023 IEEE Belgrade PowerTech*, Belgrade, Serbia, 2023, p. 1–6, doi: 10.1109/PowerTech55446.2023.10202703.
- [5] N. K. B. Twum-Duah, Direct and Indirect Energy Flexibility Interactions at the Building and Community Scale: From System to the Human-Interfaced System, Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes, 2023.
- [6] O. Rouchouze, J. Coignard, L. Khubashvili, F. Wurtz et B. Roussillon, « Quantification Simplifiée de la Flexibilité Énergétique Résidentielle : Un Indicateur Accessible pour les Communautés Locales », in *Proc. CIRED 2025 – Conférence Internationale sur la Distribution d'Énergie Électrique*, Genève, Suisse, juin 2025, article n° 780 (à paraître).
- [7] H. Allcott et T. Rogers, « The Short-Run and Long-Run Effects of Behavioral Interventions: Experimental Evidence from Energy Conservation », *American Economic Review*, vol. 104, n° 10, p. 3003–3037, 2014.
- [8] M. Pullinger, J. Kilgour, N. Goddard, N. Berliner, L. Webb, M. Dzikovska, H. Lovell, J. Mann, C. Sutton, J. Webb et M. Zhong, « The IDEAL Household Energy Dataset, Electricity, Gas, Contextual Sensor Data and Survey Data for 255 UK Homes », *Scientific Data*, vol. 8, 2021, doi: 10.1038/s41597-021-00921-y.
- [9] RTE, ENERTECH et ADEME, « Panel Usages Électrodomestiques – Rapport Final », ADEME, 2021.
- [10] D. Ariely, *Misbelief: What Makes Rational People Believe Irrational Things*, Heligo Books, 2023.