

## ENGLISH ABSTRACT

---

This thesis examines internal mechanisms for renewable energy communities and develops a set of models and algorithms to support planning, operation, and settlement at neighborhood scale. As distributed photovoltaic generation, residential batteries and flexible loads proliferate, communities of prosumers can coordinate to increase self-consumption, share investment benefits and provide flexibility services; achieving these goals requires rules and control schemes that are technically feasible, economically sound and socially acceptable.

This work adopts a modular approach. A general optimization framework decomposes the REC problem into billing and settlement, network-aware sizing of DERs, flexible demand modeling, forecast management and real-time control. From this basis the thesis presents practical contributions: a grid-aware sizing routine for joint investment and operational decisions; a stochastic residential load profile generator capturing white goods, electric vehicles and heating; decentralised coordination schemes and explicit reward mechanisms for flexibility provision; sequential peer-to-peer market concepts for managing forecast deviations; and a distributed, consensus-based ADMM controller for second-scale voltage regulation.

Numerical illustrations, using a representative Belgian neighborhood, quantify the benefits of coordination and flexibility and highlight the sensitivity of outcomes to tariff design and regulatory choices. The work also contrasts rigorous cooperative game-theoretic allocations with simpler, interpretable settlement heuristics to balance fairness and implementability.

By combining optimization, stochastic modeling and distributed control, the thesis provides a flexible blueprint for analyzing and operationalizing fair, efficient, and grid-aware internal markets in energy communities. Limitations of the present models are discussed and directions for future work are proposed, including integration with network planning, socio-economic modeling of member behavior and field demonstrations.

## FRENCH ABSTRACT

---

Ce manuscrit étudie les mécanismes internes aux communautés d'énergie renouvelable et propose une série d'approches formelles pour soutenir la planification, l'exploitation et la facturation de ces structures. Face à la pénétration croissante de la production photovoltaïque résidentielle, des systèmes de stockage électriques et des charges pilotables, les communautés de prosommateurs peuvent améliorer la corrélation entre production et consommation et mutualiser des services flexibles. Cependant, cette coordination soulève des questions techniques, économiques et institutionnelles dont l'élaboration nécessite des modèles opérationnels précis.

Ce travail adopte une démarche modulaire : il formalise un cadre d'optimisation général pour la répartition des flux et des coûts, le dimensionnement des moyens (PV, batteries) en intégrant les contraintes réseau, la modélisation stochastique des profils de demande résidentielles, la gestion des erreurs de prévision et le contrôle temps-réel de la tension. À partir de ce socle, sont développés des outils concrets : une routine de dimensionnement sensible au réseau, un générateur stochastique de profils de consommation incluant appareils programmables et véhicules électriques, des schémas décentralisés de coordination et de rémunération explicite pour la flexibilité, des mécanismes séquentiels d'échange pour traiter les écarts de prévision, et un contrôleur distribué basé sur ADMM pour la régulation de tension à l'échelle seconde.

Des études de cas représentant des quartiers résidentiels illustrent les méthodes et quantifient les gains potentiels de la communauté selon les degrés de liberté permis et les variables de décisions considérées. Cette thèse conclut sur les enjeux d'équité dans le partage des bénéfices, compare des méthodes d'allocations et leurs bases théoriques, et discute les limites des modèles en suggérant des pistes de prolongement : le couplage avec la planification réseau, l'intégration d'aspects socio-comportementaux et une validation expérimentale.