

Formation de coalitions de "Prosumers" dans un environnement Smart Grid

Nicolas Gensollen, Vincent Gauthier, Monique Becker, Micher Marot

CNRS SAMOVAR, Telecom SudParis
Institut MinesTelecom

`nicolas.gensollen@telecom-sudparis.eu`

10 Avril 2015

1 Introduction

- Vue globale
- Intérêt des coalitions dans le smart grid
- Objectifs

2 Un modèle du Prosumer

- Les données d'entrée
- Production et consommation agrégées
- Processus
- Contrats de production
- Un modèle de stabilité

3 Une Heuristique de formation de coalitions

- Les graphes de corrélation
- Cliques non corrélées
- La percolation de Cliques

4 Résultats

5 References

1 Introduction

- Vue globale
- Intérêt des coalitions dans le smart grid
- Objectifs

2 Un modèle du Prosumer

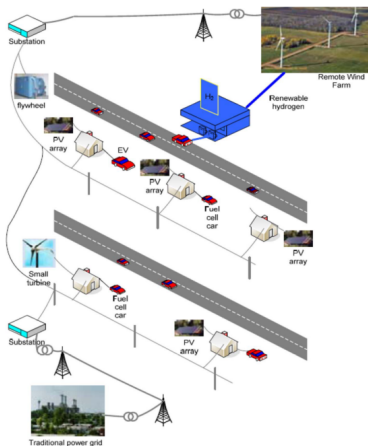
- Les données d'entrée
- Production et consommation agrégées
- Processus
- Contrats de production
- Un modèle de stabilité

3 Une Heuristique de formation de coalitions

- Les graphes de corrélation
- Cliques non corrélées
- La percolation de Cliques

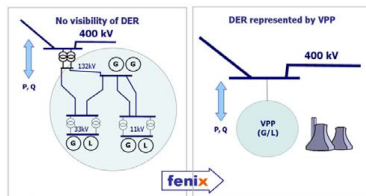
4 Résultats

5 References



cf. [1]

- **Prosumer** : "producer + consumer".
Agent qui consomme et produit de l'énergie.
- **DER** : *Distributed Energy Ressources*.
Générateurs distribués dans le réseau (éoliennes, panneaux photovoltaïc (PV),...)



- **Stabiliser** les DER basés sur des énergies intermittentes (cf. [2] 4 solutions : "expansion géographique", "diversifier les ressources" (mix énergétique), "stockage", et "fossile backup")
- **Décentraliser** la production (augmenter la résilience de la production)
- **Rapprocher** la production de la consommation (diminution des pertes par transport et transformation de tension) [11]
- Permettre aux prosumers de **participer** (malgré leur faible production) en s'agrégeant [6]
- Améliorer la **visibilité** des DER en réduisant le nombre d'entités en communication directe avec le grid/marché [6]

- Construire un **modèle réaliste** de prosumer basé sur des données réelles
- **Simuler** le comportement de ces prosumers sur une période donnée
- Autoriser les prosumers à **vendre leur surplus** de production à l'opérateur de réseau
- **Restreindre** l'accès au marché à des entités suffisamment **productrices** et **stables**
- **Définir** une notion statistique de la **stabilité** d'une coalition
- Élaborer un **processus de formation** de coalitions de prosumers stables
- Montrer l'efficacité de ce processus

1 Introduction

- Vue globale
- Intérêt des coalitions dans le smart grid
- Objectifs

2 Un modèle du Prosumer

- Les données d'entrée
- Production et consommation agrégées
- Processus
- Contrats de production
- Un modèle de stabilité

3 Une Heuristique de formation de coalitions

- Les graphes de corrélation
- Cliques non corrélées
- La percolation de Cliques

4 Résultats

5 References

- **But** : Obtenir un large spectre de profils de consommation / production
- **Cas idéal** : données de consommation et production pour une population diversifiée de prosumers répartie sur un vaste territoire
- **Problème** : Pas disponible à notre connaissance
- Nécessité de reconstruire ces profils à partir d'autres types de données plus facilement accessibles
- Utilisation de **données météorologiques** :
 - ▶ Vitesse du vent ($m.s^{-1}$)
 - ▶ Ensoleillement ($W.m^{-2}$)
 - ▶ Température (K)
- Disponibles pour un grand nombre de stations réparties sur un territoire donné
- Ingrédient de base pour simuler le mix énergétique

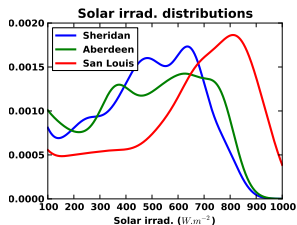
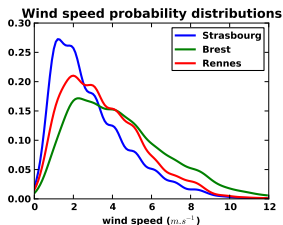
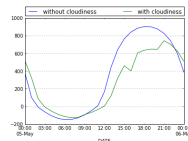
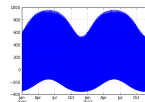
Les données d'entrée

- **Problèmes** : Ensoleillement rarement présent sous le forme d'un rayonnement en ($W.m^{-2}$)
- **Nébulosité** parfois présente (indice entre 0 et 8)
- Reconstruire des traces de rayonnement solaire à partir de traces de nébulosité

► Modèle Hélios [3] génère un **rayonnement parfait** pour une position (lat., long., alt.) et un timestamp

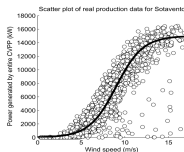
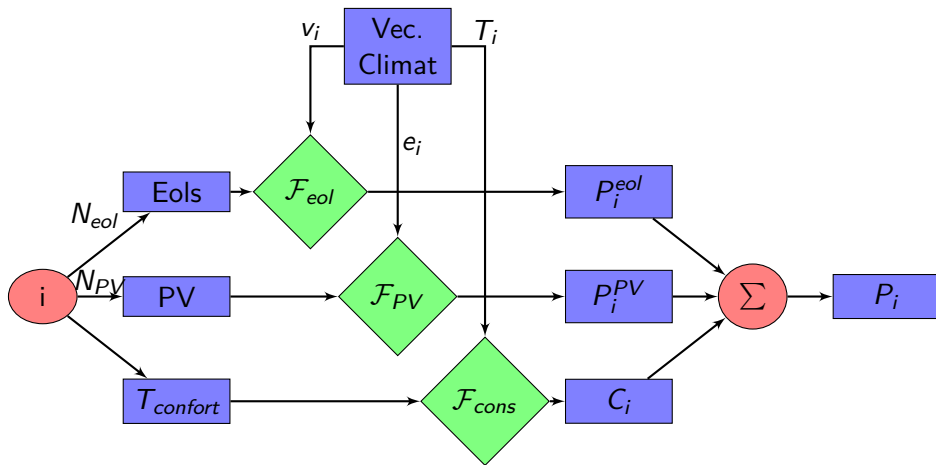
► Nébulosité interprétée comme un **facteur de dégradation**

$$(K = (1 - 0.75(\frac{N}{8})^{3.4}))$$

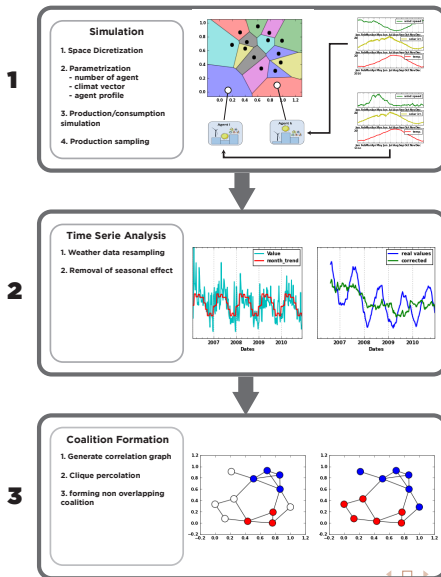


- **Discrétisation** de l'espace autour des stations
- Les prosumers sont **disposés aléatoirement** dans l'espace considéré et paramétrés (nombre d'éoliennes, de PV, de charges électriques, préférence de l'utilisateur etc...)
- Pour **chaque station** on a un **"vecteur climat"**
 $\vec{V}_i = (v_i(t), e_i(t), T_i(t))$
- Un vecteur climat est **uniforme** sur une zone : Pour tout agent $k \in \text{zone } i$, k est soumis à \vec{V}_i
- Pour tout agent i , on note $P_i(t)$ la **production instantanée** (en W) disponible à l'instant t
- $P_i(t)$ est la différence entre la production absolue de i et sa consommation
- Les traces $P_i(t)$ sont obtenues par simulation

Production et consommation agrégées

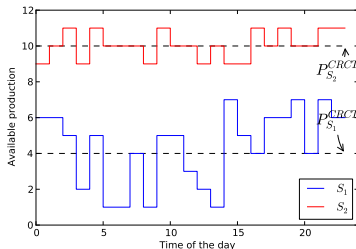
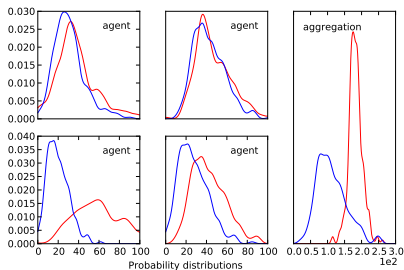


cf. [6]

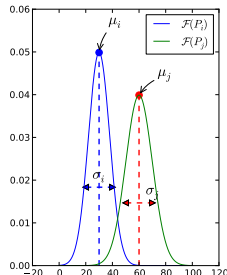


Contrats de production

- Les coalitions sont formées pour le "jour J+1"
- Pour entrer sur le marché, une entité S doit estimer et annoncer une valeur de contrat P_S^{CRCT}
- Volatilité de la production et de la consommation
- Un algorithme interne à la coalition doit maintenir $P_S(t) = P_S^{CRCT} \forall t$ (batteries, charges différées, générateurs de backup...)
- Moins S dévie de P_S^{CRCT} , plus le maintien de S est aisé et peu coûteux
- Parallèlement, plus P_S^{CRCT} est élevé, plus S produit sur le marché



Une définition de la stabilité (exemple simple)

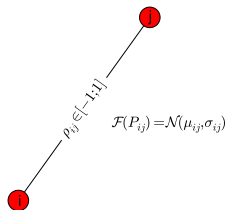
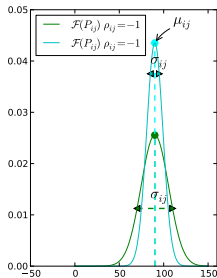


$\mathcal{F}(P_j) = \mathcal{N}(\mu_j, \sigma_j)$

$\mathcal{F}(P_i) = \mathcal{N}(\mu_i, \sigma_i)$

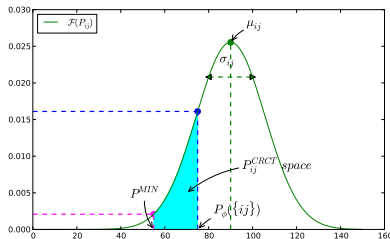
- Agents i et j tels que $\mathcal{F}(P_i) = \mathcal{N}(\mu_i, \sigma_i)$ et $\mathcal{F}(P_j) = \mathcal{N}(\mu_j, \sigma_j)$
- Quelle valeur de contrat P_{ij}^{CRCT} doit annoncer la coalition $\{ij\}$?

Une définition de la stabilité (exemple simple)



- La distribution de la coalition $\{i, j\}$ s'écrit $\mathcal{F}(P_{ij}) = \mathcal{N}(\mu_{ij}, \sigma_{ij})$ avec :
 - ▶ $\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$
 - ▶ $\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 + \rho_{ij}\sigma_i\sigma_j}$
- Intuitivement, on souhaiterait :
 - ▶ Maximiser P_{ij}^{CRCT} (plus de production, donc plus de revenus)
 - ▶ Minimiser la probabilité que P_{ij} soit inférieur à P_{ij}^{CRCT}

Une définition de la stabilité (exemple simple)



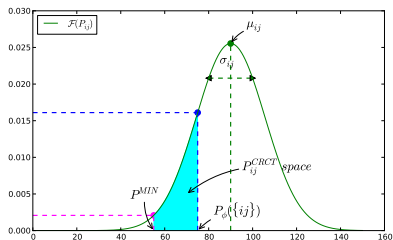
- Supposons que l'opérateur contrôle l'accès au marché :

- ▶ Seuil P^{MIN} de production
- ▶ Seuil ϕ de stabilité

- $\{ij\}$ est autorisé à entrer si :

- ▶ $P_{ij}^{CRCT} \geq P^{MIN}$ (règle de production minimum)
- ▶ ET $Pr[P_{ij} \leq P_{ij}^{CRCT}] \leq \phi$ (règle de stabilité)

Une définition de la stabilité (exemple simple)



- La probabilité que P_{ij} soit inférieure à P_{ij}^{CRCT} :

$$Pr[P_{ij} \leq P_{ij}^{CRCT}] = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{P_{ij}^{CRCT} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij} \sqrt{2}} \right) \right]$$

- On note $P_{\phi}(\{ij\}) = \mu_{ij} - \sigma_{ij} \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(1 - 2\phi)$
- $P_{ij}^{CRCT} \in [P^{MIN}, P_{\phi}(\{ij\})]$
- Si $P^{MIN} > P_{\phi}(\{ij\})$, $\{ij\}$ n'est pas assez stable pour entrer sur le marché

- Les coalitions présentant des écarts types relatifs faibles (σ_{ij}/μ_{ij}) ont tendance à pouvoir annoncer des valeurs de contrats plus élevées
- La corrélation entre les P_i des agents joue un rôle important
- En supposant que l'on souhaite N_{COAL} coalitions de prosumers, on souhaiterait :

$$\arg \min_{\substack{S \subset CS \\ |S|=N_{COAL} \\ \forall s \in S, |s| \neq 0 \\ P_s^{CRCT} \geq P^{MIN}}} \sum_{s \in S} \Pr[P_s \leq P_s^{CRCT}]$$

- Pour une coalition s , sous les règles P^{MIN} et ϕ , on définit une fonction d'utilité :

$$\mathcal{U}_{\phi, P^{MIN}}(s) = \mathbf{1}_{s \text{ valid}} \frac{P_{\phi}(s)}{|s|}$$

1 Introduction

- Vue globale
- Intérêt des coalitions dans le smart grid
- Objectifs

2 Un modèle du Prosumer

- Les données d'entrée
- Production et consommation agrégées
- Processus
- Contrats de production
- Un modèle de stabilité

3 Une Heuristique de formation de coalitions

- Les graphes de corrélation
- Cliques non corrélées
- La percolation de Cliques

4 Résultats

5 References

- **Idée** : Partir (avant tout calcul d'utilité) d'une situation de base favorable à la formation de coalitions stables
- **Finance** : timeseries clustering of stocks (*daily log returns*)
introduit une approche prenant explicitement en compte la **corrélation** entre les séries :
 - ▶ métrique basée sur le coefficient de corrélation ($d_{ij} = 1 - \rho_{ij}^2$ par ex)
 - ▶ créer un graphe complet où le poids des arrêtes est d_{ij}
 - ▶ filter ce graphe (MST, ϵ -graphe...)
- MST [9] : permet de construire un clustering hiérarchique, mais au détriment de la véritable structure du graphe
- ϵ -graphe [10] [4] : Met en évidence les clusters de séries très corrélées

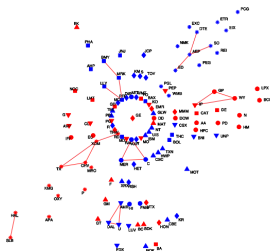


Fig. 1. Sample graph of $N = 116$ vertices and $n = 20$ edges, corresponding to a connection probability $p = n/[N(N - 1)/2] \approx 0.003$.

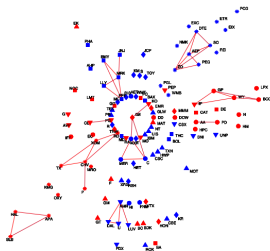


Fig. 2. Sample graph for $n = 40$ edges ($p \approx 0.006$).

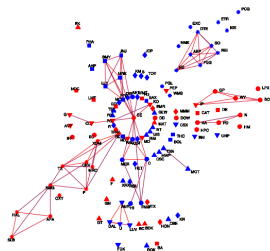


Fig. 3. Sample graph for $n = 80$ edges ($p \approx 0.012$).

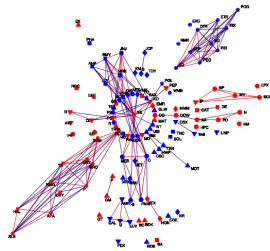
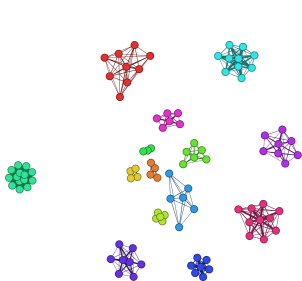


Fig. 4. Sample graph for $n = 160$ edges ($p \approx 0.024$).

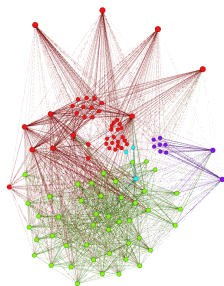
cf. [10]

Cliques non corrélées

- Méthode précédente appliquée à notre cas : clusters bien définis
- Mais faible utilité car les clusters ont une très forte corrélation interne
- **idée** : inverser la métrique ($d_{ij} = \rho_{ij}^2$)
- **Problème** : Le graphe perd sa structure de clusters bien définis
- Appliquer une méthode de clusterisation ou de détection de communautés classique ne donne pas de bons résultats
- **Néanmoins** : clique = faible corrélation



| | | |
|-------|---------------------------|-------|
| 7,28 | Degré | 23,34 |
| 0,327 | Degré pondéré | 2,219 |
| 1 | Diamètre | 3 |
| 0,074 | Densité | 0,236 |
| 0,559 | Modularité | 0,249 |
| 1 | Coefficient de clustering | 0,208 |
| 14 | Composantes connexes | 1 |



La percolation de Cliques

- Les cliques ne satisfont pas forcément les conditions du grid
- Les cliques pourraient bénéficier (en terme d'utilité) de l'ajout de noeuds (même si la structure n'est alors plus une clique)
- La percolation de cliques [8] [7] est une technique de détection de communauté
- Nécessite une fonction de fitness, ex :

$$f(S) = \frac{k_{in}^S}{(k_{in}^S + k_{out}^S)^\alpha} \quad \text{avec } \alpha \in \mathbb{R}^+, \text{ ou } \mathcal{U}_{\phi, P^{MIN}}(s) = \mathbf{1}_{s \text{ valid}} \frac{P_\phi(s)}{|s|}$$

- ▶ α contrôle la taille des communautés
- ▶ k_{in}^S est deux fois le nombre d'arêtes internes à S
- ▶ k_{out}^S le nombre de liens entre S et le reste du graphe
- Les cliques sélectionnent alternativement dans leur voisinage le nœud augmentant le plus leur fitness
- Fin lorsque tout les nœuds sont inclus dans au moins une coalition ou quand les cliques cessent de grandir
- Les communautés finales peuvent se chevaucher : un nœud peut appartenir à plusieurs communautés

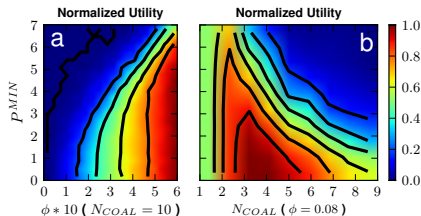
- 1 Introduction
 - Vue globale
 - Intérêt des coalitions dans le smart grid
 - Objectifs

- 2 Un modèle du Prosumer
 - Les données d'entrée
 - Production et consommation agrégées
 - Processus
 - Contrats de production
 - Un modèle de stabilité

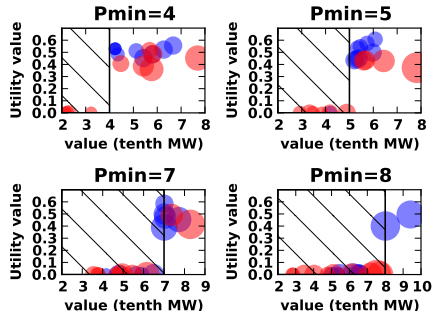
- 3 Une Heuristique de formation de coalitions
 - Les graphes de corrélation
 - Cliques non corrélées
 - La percolation de Cliques

4 Résultats

5 References

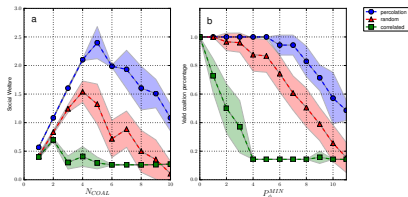
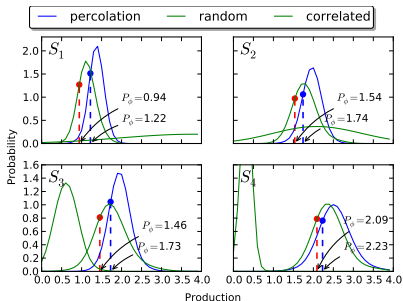


- Utilité normalisée dans l'espace des paramètres (a : $\{\phi, P^{MIN}\}$, b : $\{N_{COAL}, P^{MIN}\}$)
- P^{MIN} exprimé en dixième de MW



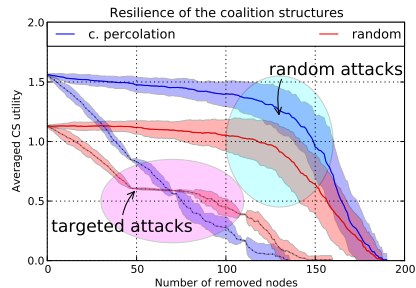
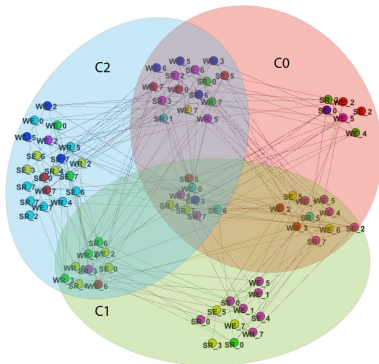
- Évolution des coalitions pour différentes valeurs de P^{MIN}
- Cercles bleus = percolation de cliques, cercles rouges = random
- Diamètres proportionnels à la taille des coalitions

Résultats (2/3)



- Densités de probabilité pour les productions d'un exemple à 4 coalitions
- Bleu : coalitions formées par la percolation de cliques
- Rouge : coalitions formées par un processus aléatoire
- Vert : coalitions formées via les clusters corrélés

- a) Evolution de l'utilité globale pour différentes valeurs du nombre de coalitions désirées
- b) Pourcentage de coalitions valides pouvant entrer sur le marché en fonction de p^{MIN}
- Valeurs moyennées sur 100 réalisations (zones colorées représentent l'écart type)





Martin Braun.

Virtual Power Plants in Real Applications Pilot Demonstrations in Spain and England as part of the European project FENIX.
49(561).



Cory Budischak, DeAnna Sewell, Heather Thomson, Leon Mach, Dana E. Veron, and Willett Kempton.

Cost-Minimized Combinations of Wind Power, Solar Power and Electrochemical Storage, Powering the Grid up to 99.9% of the Time.

Journal of Power Sources, 225 :60–74, October 2012.



G Dans and Forest Science.

Rayonnement solaire.

360, 2007.



a. Garas, P. Argyrakis, and S. Havlin.

The structural role of weak and strong links in a financial market network.

The European Physical Journal B, 63(2) :265–271, June 2008.



Nicolas Gensollen, Vincent Gauthier, Michel Marot, and Monique Becker.

Coalition Formation Algorithm of Prosumers in a Smart Grid Environment.
page 6, October 2014.



Ramachandra Kota, Alex Rogers, and Nicholas R Jennings.

Cooperatives of Distributed Energy Resources for Efficient Virtual Power Plants.
(Aamas) :787–794, 2011.



Andrea Lancichinetti.

Detecting the overlapping and hierarchical community structure in complex networks.



Conrad Lee, Fergal Reid, Aaron Mcdaid, and Neil Hurley.
Detecting Highly Overlapping Community Structure by Greedy Clique Expansion.
10, 2010.



R N Mantegna.
P HYSICAL J OURNAL B.
197 :193–197, 1999.



J.-P. Onnela, K. Kaski, and J. Kertesz.
Clustering and information in correlation based financial networks.
The European Physical Journal B - Condensed Matter, 38(2) :353–362, March 2004.



Walid Saad, Zhu Han, and H. Vincent Poor.
Coalitional Game Theory for Cooperative Micro-Grid Distribution Networks.
2011 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC), pages 1–5, June 2011.