

## Electrification décentralisée : Tendances technologiques et enjeux d'adaptation dans le Département de l'Alibori au Bénin

**Hubert Frédéric GBAGUIDI**

Ecole des Sciences et Techniques du Bâtiment et de la Route (ESTBR) de l'Université Nationale des Sciences Technologies et Mathématiques (UNSTIM) d'Abomey (Bénin)

### Résumé :

*L'accès à l'énergie électrique est un droit universel dont la jouissance est un facteur essentiel du développement. Mais le lourd investissement nécessaire au développement d'un réseau d'électricité limite les politiques publiques dans la fourniture de ce service public. Dans le département de l'Alibori au Bénin, l'étendue géographique, l'isolement, l'enclavement des localités et la faible densité de la population sont des contraintes qui ne favorisent pas l'investissement pour le raccordement d'une grande partie des citoyens au service public. Dès lors, de nombreuses solutions technologiques ont été développées pour suppléer le service classique. La présente réflexion a donc disséqué la panoplie de l'offre en termes de technologies décentralisées en y montrant les avantages comparatifs mais aussi les limites. Partant de ce résultat, des mesures ont été préconisées pour assurer la durabilité des investissements dans ces localités en marge du service public.*

**Mots clés :** durabilité des infrastructures, énergies renouvelables, services essentiels, solaire photovoltaïque, énergie décentralisée, innovation organisationnelle.

**Abstract:**

*Access to energy is a universal right whose enjoyment is an essential factor in development. But the heavy investment required to develop an electricity network limits public policies in the provision of this public service. In the department of Alibori in Benin, the geographical extent and isolation of the localities and the low density of the population are constraints that do not promote investment for the development of the public service. Since then, many technological solutions have been developed to supplement the conventional service. The present study case has therefore dissected the range of supply in terms of decentralized technologies, showing not only comparative advantages but also limits. On the basis of this result, measures have been recommended to ensure the sustainability of investments in these localities outside the public service.*

**Keywords: infrastructure sustainability, renewable energy, essential services, photovoltaic solar, decentralised energy, organizational innovation.**

## Introduction

La place de l'énergie électrique dans le développement des sociétés humaines est une réalité qui conduit toutes les politiques publiques à l'insérer au premier plan des documents de stratégie et de planification. Le cabinet Performances Management Consulting (2008, p. 33) ajoute pour confirmer cette affirmation, que « *l'électricité est un levier majeur de développement des activités économiques et un service essentiel pour l'amélioration significative des conditions de vie* ». Les bienfaits de ce service essentiel sont donc indéniables et c'est à ce titre que Hounkpatin (2013, p. 5) décrit que :

*L'électricité apporte du confort et du bien-être dans les foyers, favorise le développement de l'artisanat, des PME et des industries ainsi que du secteur des services et de l'administration, en même temps que se développe l'agriculture, le tout permettant d'assurer la croissance économique du pays, en concordance avec sa croissance démographique.*

En dépit de l'importance de ce service essentiel, les investissements lourds nécessaires à son développement constituent un frein capital à sa disponibilité permanente. Dans le même temps, l'accentuation des désordres climatiques extrêmes fait prendre conscience de ce que les énergies fossiles sont une cause essentielle de l'aggravation de la dégradation des conditions d'existence dans les villes et campagnes.

Au Bénin, d'une manière générale, le secteur énergétique est caractérisé entre autres par une consommation nationale relativement faible et un taux d'accès limité des populations surtout en zones rurales. Les statistiques publiques révèlent que le taux national d'accès à une source d'énergie électrique est de l'ordre de 30 % avec 54 % en milieu urbain et 5 % seulement en milieu rural (ABERME, 2009). Dans ces conditions, l'éclairage des ménages est au meilleur des cas effectué grâce à des solutions alternatives telles que les bougies et les lampes à pétrole dont la disponibilité devient de plus en plus aléatoire en dépit de leur très faible rendement lumineux. Et pourtant l'utilisation de l'énergie électrique fournit des heures supplémentaires pour le travail et donc permet d'améliorer la productivité du travail aussi bien en zone urbaine qu'en milieu rural.

D'un autre côté, le déficit d'énergie a de sérieuses répercussions sur la fourniture des autres services essentiels dont l'approvisionnement en eau potable. De ce fait, le pompage manuel développé dans les zones rurales ayant montré ses limites, l'absence de système électrique conduit les populations à recourir à une eau de qualité non potable pour les besoins élémentaires.

Pour pallier à ces insuffisances, Tsuanyo(2015, p. 11) a identifié trois approches de base de l'électrification rurale. La première est par une extension du réseau électrique national ou régional. L'électrification à partir des systèmes domestiques/résidentiels (de puissance inférieure à 10 kW) constitue le deuxième mode de fourniture de ce service essentiel alors que le développement des mini réseaux électriques (de puissance supérieure à 10 kW) constitue la dernière solution identifiée.

L'analyse de ces solutions révèle que l'extension du réseau national ou régional dans les zones rurales en marge du service public d'électricité est confrontée à des difficultés telles que les vastes zones géographiques inaccessibles et les communautés dispersées et isolées (Tsuanyo (2015, p. 36). Dès lors, *Laponche* (2002, p. 8), propose pour abolir la frontière entre offre et demande de « *promouvoir l'énergie décentralisée* ».

La présente étude s'inscrit donc dans cette dynamique et se propose de mener des réflexions sur la mise en adéquation de la demande et de l'offre de la fourniture en énergie électrique des localités isolées du réseau public et partant de la durabilité du service public. Les principales questions qui serviront de socle aux analyses sont : Quel est le cadre institutionnel du service de l'électricité ? quelles solutions se prêtent le mieux aux besoins exprimés et enfin, quels mécanismes permettront la durabilité de ce service essentiel ?

### **1- Démarche méthodologique**

Le postulat de base de cette étude est que la production décentralisée de l'énergie électrique relève de plusieurs logiques. Pour éclairer la lanterne, deux hypothèses de recherche y ont été formulées. La première vise à vérifier l'existence d'une pluralité de solutions de fourniture de l'électricité décentralisée. La seconde soutient que les handicaps technologiques de l'expansion de l'électricité décentralisée peuvent être levés si les règles d'exploitation sont définies avec une autorité procédurale.

Pour éprouver ces hypothèses, la méthode utilisée a consisté à faire une observation participante des infrastructures et équipements installés ainsi que des pratiques et modes de vie des riverains des localités impactées par la fourniture de ce service public. Pour ce faire, les ressources documentaires ont été croisées avec les entretiens d'experts et/ou d'acteurs de l'électrification rurale. Du fait des balises posées pour le champ des analyses, le panel de personnes interviewées reflète la diversité des profils présents dans ce domaine d'ingénierie.

Le dépouillement des résultats obtenus des investigations a ensuite permis de cartographier les infrastructures réalisées et de mesurer l'impact de leur développement ainsi que de proposer des recommandations pour la durabilité des investissements.

### **2- Résultats et discussions**

Le croisement des informations obtenues fait montre de ce que le cadre institutionnel de la fourniture décentralisée de l'énergie électrique est balisé. De même, les solutions technologiques de fourniture de ce service essentiel n'ont pas toutes atteint le même degré de maturité. Enfin, la durabilité des solutions décentralisées appelle à de l'innovation organisationnelle grâce à une autorité procédurale.

#### **2-1- Cadre institutionnel de la fourniture d'énergie électrique**

Afin de faire face aux lourds investissements nécessaires à la production de l'énergie électrique, la Communauté Electrique du Bénin (CEB) a été créée par le code bénino-togolais de l'Electricité pour mutualiser les efforts dans l'importation, la production et le transport de l'énergie électrique pour l'approvisionnement des deux états. Mais ces responsabilités incombent également à la Société Béninoise d'Énergie Electrique (SBEE) qui, à la faveur de la

loi n°2006-16 du 27 mars 2006 portant code national de l'électricité au Bénin assure en plus de la production et de l'achat, la distribution publique de l'énergie électrique en zone urbaine et péri urbaine. La même disposition législative responsabilise l'ABERME à développer le réseau électrique dans les zones rurales. Par ailleurs, l'ensemble de ces différentes missions du service public « *est placé sous la responsabilité exclusive de l'Etat* » qui définit et conduit la politique nationale du secteur (Assemblée Nationale, 2006).

Les acteurs opérationnels ainsi identifiés sont appuyés par les municipalités aux termes de l'article 86 de la loi 97-029 portant organisation des communes en république du Bénin qui stipule que la commune « *est partie prenante aux procédures et aux opérations d'aménagement du territoire pour ce qui concerne son ressort territorial* » (D.G.D.G.L., 2010). À ce titre, elles identifient les sites devant recevoir les infrastructures et participent au suivi des réalisations. Grâce à la signature de convention avec l'ABERME et la SBEE, elle délègue également la mise en œuvre des investissements nécessaires à la mise en place des infrastructures. La même disposition légale a prévu l'ouverture du secteur à des producteurs privés à travers la libéralisation de la production et de la distribution de l'énergie électrique.

Au total, malgré la multiplicité des structures intervenant dans le secteur, le jeu des acteurs est suffisamment balisé pour permettre une fourniture ordonnée du service public. L'installation récente de l'Autorité de Régulation du secteur de l'Energie (ARE) renforce d'avantage ce cadre institutionnel.

## **2.2- Présentation de la zone d'étude et état des lieux**

Le département de l'Alibori est situé dans l'extrême nord Est du Bénin. Avec une superficie de 26 303 km<sup>2</sup> représentant environ 23 % du territoire national, il comprend sur le plan administratif six (06) communes et fait frontière avec le Nigéria, le Niger et le Burkina Faso. Sa population de 867 463 habitants en 2013 (INSAE, 2016) représente 8,7% de la population béninoise. Sa faible densité de 33 habitants au km<sup>2</sup> se justifie par le fait qu'une partie considérable du territoire est désertique. Quelques centres urbains ont été créés dans ce département laissant la plus grande partie du territoire rural. Par ailleurs, nombreuses sont les localités difficilement accessibles du fait de la dégradation avancée du réseau routier et de la prédominance des localités isolées. La carte ci-après illustre l'étendue de ce territoire.

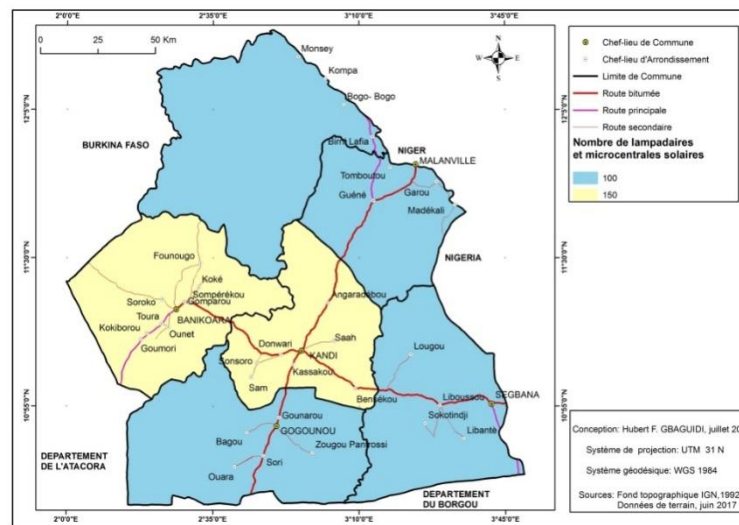


Figure N° 01 : Carte administrative du département de l'Alibori

Sur le plan physique, le climat évolue du type soudanien dans sa partie Sud vers le type soudano sahélien dans sa partie Nord. Ce département ne connaît qu'une seule saison de pluie qui dure entre 5 à 6 mois avec une pluviosité oscillant entre 700 mm et 1 200 mm (INSAE, 2016). Les mesures de l'irradiation effectuées en kWh/m<sup>2</sup> à Kandi au centre du département varient entre 6,52 en Août et 9,64 en Février (PNUD, 2010). Ces données donnent un productible annuel élevé de 2 380 kWh/m<sup>2</sup> à 3 518 kWh/m<sup>2</sup>.

### 2.3- Technologies de production énergétique

Des sources conventionnelles aux sources alternatives, l'offre en termes de fourniture d'énergie est variée dans le département de l'Alibori. Ainsi, pour l'alimentation électrique, le réseau du service public est le plus développé et couvre l'ensemble des chefs-lieux des communes. L'énergie distribuée par ce prestataire de service provient essentiellement de l'interconnexion avec les pays voisins mais aussi des générateurs thermiques. Pour les offres privées, les plateformes multifonctionnelles, les groupes électrogènes et les générateurs solaires sont les sources identifiées. L'examen des avantages et des inconvénients de chacune des solutions déployées est récapitulé dans les tableaux N° 01 ci-après.

Tableau 01 : Avantages et inconvénients des solutions énergétiques

Solution	Avantages	Inconvénients
<b>Réseau conventionnel</b>	Coût de production relativement faible Possibilité d'étendre la distribution sur une grande zone	Investissements lourds pour l'installation Nécessite l'installation et/ou l'extension d'un réseau Moyenne Tension et Basse Tension
<b>Groupes électrogènes</b>	Coût d'acquisition relativement faible Production décentralisée	Coût élevé de l'exploitation lié à la carburant Distribution localisée sur le



	Ne nécessite pas l'extension et/ou la construction du réseau de distribution Favorise l'adaptation de la demande à l'offre	lieu de production
<b>Générateurs solaires</b>	Production décentralisée Charge d'exploitation faible Maintenance limitée Ne nécessite pas de redevance mensuelle Peut supporter un mini réseau de distribution	Coût d'installation élevé La fiabilité des composantes des équipements est limitée Immobilise un grand espace pour l'installation du champ solaire La production fluctue au gré des aléas climatiques
<b>Plateformes multifonctionnels</b>	Production décentralisée Sert à d'autres usages (agricoles et industriels) Charges d'exploitation limitées Peut supporter un mini réseau de distribution	Coût élevé de l'exploitation lié à la carburation Absence de spécialistes pour la maintenance locale des équipements

Source : Données du terrain

La lecture du tableau N° 01 dégage que chacune des solutions présente autant d'avantage que d'inconvénients. Toutefois, au regard du contexte local marqué par une prédominance de localités isolées, il serait plus judicieux de préférer les solutions décentralisées pour les localités en marge du réseau du fait de leur flexibilité d'installation et du coût relativement moindre de leur développement.

### 2.3.1- Energie décentralisée

Les solutions énergétiques décentralisées sont des mécanismes permettant la satisfaction de besoins énergétiques à partir de systèmes énergétiques produisant l'énergie localement de source renouvelable comme les systèmes photovoltaïques, éoliens ou hydrauliques mais aussi non renouvelable comme les groupes électrogènes (Bentaleb, 2004, p. 2). Sur le plan technique, Kanche (2014, p. 25), ajoute qu'une solution décentralisée ou isolée consiste à « *la production d'énergie électrique à l'aide des installations de petite puissance raccordées aux réseaux à basse tension contrairement à la production centralisée de grande puissance, raccordées au réseau de transmission* ». Pour la maîtrise de cette option de fourniture du service public d'électricité, Laponche (2002, p. 14) identifie « *l'accès à des technologies adaptées performantes* » et « *l'adaptation des cadres juridiques et institutionnels* » comme les conditions à remplir. En s'intéressant au préalable technologique, Tsuanyo (2015, p. 12) distingue deux types de systèmes décentralisés : les systèmes domestiques et les mini-réseaux. Ce dernier procédé constitue une alternative viable à l'extension du réseau conventionnel.

Après une analyse des procédés de fabrication, Vergnol (2010, p. 8) estime que la production d'énergie décentralisée provient de deux sources d'énergie primaire : les énergies fossiles et les énergies renouvelables. Avec les problèmes de changement climatique, nombreuses sont

les politiques publiques qui mettent en cause la source des énergies fossiles. Les énergies renouvelables concernent le solaire, la géothermie, l'éolien, l'hydrothermie, l'énergie marémotrice et hydraulique. L'énergie issue de la biomasse, du gaz de décharge, du gaz de stations d'épuration des eaux usées et du biogaz est aussi qualifiée d'énergie renouvelable.

**Tableau 2 : Forces et faiblesses des technologies de fourniture d'énergie renouvelable**

Technologies	Forces	Faiblesses
<b>Solaire</b>	Nécessite très peu de maintenance Pas d'émissions de GES	Coût d'investissement élevé Energie fluctuante, nécessite des batteries en zone isolé
<b>Eolien</b>	Système facilement automatisé	Coûts élevés pour des petites puissances Energie très fluctuante Nécessite les batteries en milieu isolé
<b>Géothermie</b>	Pas d'émission de GES	Technologie encore immature Potentiel faible
<b>Energie marémotrice</b>	Disponibilité permanente des marées	Technologie encore immature Potentiel faible
<b>Hydrothermie</b>	Efficacité de la source supérieure à 50% Coûts globaux relativement faibles	Très dépendant du site et des saisons Technologie encore immature Nécessite beaucoup de maintenance
<b>Systèmes à biomasse</b>	Offre plusieurs possibilités de production d'électricité à partir du gaz, bois, ou biocarburant Faible émissions CO2	Nécessite une gestion complexe pour assurer une production continue Système parfois illégal, non réglementés

Source : Tsuanyo, 2015, Données du terrain

La lecture de ce tableau dégage que les limites des différentes solutions de production d'énergie renouvelable sont à la fois technologiques, économiques et institutionnelles. La géothermie, l'énergie marémotrice et l'hydrothermie sont des technologies encore immatures et donc nécessitant une avancée des recherches scientifiques pour générer un bon potentiel. Les limites des systèmes à biomasse tiennent du fait que ces installations sont parfois en marge de la réglementation et nécessitent une gestion assez complexe pour assurer une continuité dans la production. Pour les solutions basées sur le vent ou les rayons du soleil, (Vergnol, 2010, p. 9) prévient que la « *production décentralisée à base d'énergie éolienne et solaire est difficilement prévisible et très fluctuante en raison de la nature de leur source primaire* ».

Somme toute, chacune des technologies montre des limites. Toutefois, le soleil étant un gisement inépuisable, son recours pourrait favoriser la continuité dans le service public.



### 2.3.2- la solution du solaire et ses contraintes

L'énergie solaire photovoltaïque selon le Centre de Développement des Energies Renouvelables de l'Algérie (2011, p. 30), désigne « *l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques* ». Avec un niveau d'ensoleillement très élevé et intense de plus de 3000 heures par an et un productible de 3,5 kW/m<sup>2</sup>, le recours à cette solution pourra être une piste de solution décentralisée de la production de l'énergie électrique. Par ailleurs, la limite de cette technologie reste dans la difficulté de réaliser l'équilibre entre la consommation et la production du fait des aléas de la météorologie dans la disponibilité de la source primaire. Toutefois, contrairement aux autres sources qui sont concentrés en des points spécifiques, le rayonnement solaire est sur tous les territoires. L'exploiter ne pose donc pas de contraintes territoriales mais plutôt des dispositions techniques. C'est donc à juste titre que Chouder (2011, p. 12) a diagnostiqué que « *la production énergétique des systèmes photovoltaïques est fortement affectée par les arrêts à répétitions et les dysfonctionnements des différents composants formant le système global* ».

Pour pallier à ces points du réseau, il importe donc de réfléchir à la mise en place de mécanismes de supervision et de détection de pannes. La disponibilité des compétences locales pour la maintenance du système est donc indispensable.

### 3- Pour une durabilité du service public

L'électricité est une industrie dont le produit ne se stocke pas. Il est produit et livré de façon instantanée au client. C'est donc l'une des rares industries où l'ajustement de l'offre et de la demande se fait en temps réel. Ceci demande une réactivité de tous les instants. Or, la solution de l'énergie solaire photovoltaïque basée sur le rayonnement solaire entre en contradiction avec les besoins domestiques qui s'expriment le plus du crépuscule à l'aube et donc en absence de tout rayon du soleil. Cette contrainte technique conduit à entrevoir des batteries de stockage pour la production diurne. Mais la fragilité des accumulateurs vis-à-vis des chocs de variation de la production électrique et le lourd budget indispensable à l'acquisition de ces équipements, ajoutés à la durée de vie relativement faible (en moyenne cinq (05) ans de garantie offerte par les fabricants) constituent les écueils du système. Dès lors, la durabilité du système repose sur un mécanisme de surveillance permanente des équipements d'une part et sur leur renouvellement à l'issue de la période de garantie d'autre part.

D'un autre côté, deux paramètres constituent des plombs à sauter sur le plan de la tarification du service : les charges de production totalement différentes de celles du réseau conventionnel mais aussi la cible destinataire de cette fourniture qui n'est pas habituée à payer ce service. Pour lever cet équivoque, Tsuanyo (2015, p. 159) propose d'effectuer une « *étude approfondie sur le modèle de tarification qui lui est adapté* » pour une localité qui n'a jamais été électrifiée.

Par ailleurs, l'instauration d'un mécanisme de péréquation entre les fournitures décentralisées et le réseau conventionnel permettra de proposer aux consommateurs, un prix d'achat de l'énergie électrique adapté aux réalités locales et pareil aux abonnés des autres réseaux publics.

Le dernier handicap à même de plomber le système est l'accumulation d'impayés de facture de consommation. Pour parer au plus pressé face à cette difficulté, l'instauration systématique d'un mécanisme de prépaiement apparaît comme une réponse efficace et durable au problème de trésorerie des distributeurs de l'énergie décentralisée.

### **Conclusion**

L'accès à l'énergie électrique est un droit universel car il conditionne et dynamise les autres secteurs d'activité tels que l'éducation, la santé et l'agriculture. Au Bénin, cette importance a conduit à définir un cadre institutionnel adapté aux exigences du secteur. Mais les contraintes géographiques, démographiques mais aussi technologiques et financières liées à l'extension et au raccordement au réseau ont tôt fait de priver une bonne partie de la population surtout rurale de la jouissance de ce service. Dès lors, nombreuses sont les solutions décentralisées qui ont été développées.

Si ces solutions permettent d'atteindre le but final, c'est-à-dire offrir des réponses adaptées aux divers obstacles de développement, elles nécessitent toutefois, un changement de comportement et une adaptation des pratiques de gouvernance du service public. Ainsi, donc, la mise en œuvre d'une politique adaptée de l'entretien des équipements de production et de distribution renforcera la durabilité des investissements. Par ailleurs, l'identification d'un mode de facturation qui prenne en compte les réalités de la production décentralisée est indispensable pour une pérennisation du système.

## Bibliographie

- ABERME. (2009). *Document de Politique Nationale de Maîtrise d'Énergie (PONAME)*. Cotonou: ABERME.
- Assemblée Nationale. (2006). Loi N° 2006-16 du 27 mars 2007 portant code de l'électricité en République du Bénin.
- Bentaleb, N. (2004). L'électrification rurale décentralisée dans le sud. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 5(1), 1-22. doi:10.4000/vertigo.3910
- Centre de Développement des Énergies Renouvelables. (2011). Programme de réalisation en Énergies Renouvelables. *Bulletin des Énergies Renouvelables*(20), 39.
- Chouder, A. (2011). Diagnostic et détection des Pannes dans les Systèmes Photovoltaïques. *Bulletin des énergies renouvelables*(20), p. 40.
- D.G.D.G.L. (2010). *Recueil des lois sur la décentralisation*. Cotonou: Mission de la décentralisation.
- Houngpatin, P. (2013). L'Énergie électrique au Bénin : état des lieux et perspectives de développement par adoption d'une nouvelle politique nationale. *Journée de la Renaissance Scientifique de l'Afrique* (p. 8). Cotonou: Centre Béninois de la Recherche Scientifique et Technologique.
- INSAE. (2016). *Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Alibori (RGPH-4, 2013)*. Cotonou: INSAE.
- Kanchev, H. (2014). *Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain*, Thèse de doctorat en génie électrique. Lille: PRES Université Lille Nord-de-France.
- Laponche, B. (2002). *Énergie décentralisée enjeux technologiques, économiques et territoriaux*. Grenoble: Energie-Cités.
- Performances Management Consulting. (2008). *Étude pour l'élaboration d'une stratégie de résolution durable de la crise de l'énergie électrique dans les états membres de l'UEMOA* », Ouagadougou: UEMOA.
- PNUD. (2010). *Identification des potentialités et modalités d'exploitation des sources d'énergies renouvelables sur l'ensemble du territoire national*. Cotonou: PNUD.
- Tsuanyo, D. B. (2015). *Approches technico-économiques d'optimisation des systèmes énergétiques décentralisés: cas des systèmes hybrides PV/Diesel*. Université de Perpignan via Domitia. Perpignan: Université de Perpignan Via Domitia (UPVD).
- Vergnol, A. (2010). *Intégration dans le réseau électrique et le marché de l'électricité de production production décentralisée d'origine renouvelable : Gestion des congestions locales*. Lille: Ecole centrale de Lille.