

PERFORMANCES CONTRASTÉES DU DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LES RÉGIONS FRANÇAISES

Rafik Abdesselam, Patricia Renou-Maissant et Ferdaous Roussafi

Armand Colin | « Revue d'Économie Régionale & Urbaine »

2019/1 Janvier | pages 27 à 54

ISSN 0180-7307

ISBN 9782200932121

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://www.cairn.info/revue-d-economie-regionale-et-urbaine-2019-1-page-27.htm>

Distribution électronique Cairn.info pour Armand Colin.

© Armand Colin. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

Performances contrastées du développement des énergies renouvelables dans les régions françaises

Contrasted performances of renewable energy development in French regions

Rafik ABDESSELAM

Université de Lyon, Lumière Lyon 2, COACTIS, EA 4161,
rafik.abdesselam@univ-lyon2.fr

Patricia RENOU-MAISSANT

Université de Caen Normandie, CREM-CAEN, UMR CNRS 6211 et Economix,
UMR CNRS 7235, Université de Paris Nanterre,
patricia.maissant@unicaen.fr

Ferdaous ROUSSAFI

Université de Caen Normandie, CREM-CAEN, UMR CNRS 6211
ferdaous.roussafi@unicaen.fr
Auteur correspondant

Mots-clés : analyse de données multidimensionnelles, disparités régionales, énergies renouvelables

Keywords : multidimensional data analysis, regional disparities, renewable energies

Classification JEL : C38, P18, P25, Q48, R11

Résumé

La transition énergétique vers des énergies bas-carbone est aujourd'hui un paradigme dominant des politiques publiques liées à l'énergie. L'objectif de cet article est de proposer un état des lieux de la transition énergétique en France et plus précisément d'évaluer les performances des régions en matière de diversification du bouquet énergétique. Des méthodes d'analyse de données multidimensionnelles ont été employées. Une typologie des régions françaises caractéristique du développement régional des énergies renouvelables (ENR) en France en 2015 est proposée, elle met en évidence l'émergence de cinq profils types de développement des ENR très contrastés selon les filières d'ENR. Un large éventail de variables dites « thématiques », constituées de variables environnementales, économiques, démographiques, géographiques, climatiques et politiques permet d'enrichir la caractérisation des classes de régions.

Abstract

The energy transition towards low-carbon energies is today a dominant paradigm of public energy policies. This article aims to propose an inventory of the energy transition in France and more precisely to evaluate the performances of regions in terms of diversification of the energy mix. Multidimensional data analysis methods were implemented. A typology of French regions relating to the regional development of the renewable energies (RE) in France in 2015 is proposed; it highlights the emergence of five typical profiles of RE development sharply contrasted according to RE sectors and regions. A wide range of "thematic" variables, made up of environmental, economic, demographic, geographical, climatic and political variables, makes it possible to enrich the characterization of the classes of regions.

- 1 -

Introduction

Au cours des années 1990, les enjeux environnementaux sont devenus une préoccupation majeure des décideurs politiques ; face aux menaces liées au changement climatique, il apparaît alors essentiel de réduire la consommation énergétique, de limiter l'utilisation des énergies polluantes et de favoriser le développement d'énergies bas-carbone. Le développement des technologies de production basées sur l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables (ENR) doit permettre de réduire considérablement les émissions futures des gaz à effet de serre (HOFFERT *et al.*, 2002 ; ROHATGI *et al.*, 2002). L'énergie nucléaire joue un rôle clé dans le développement économique de long terme et dans l'élaboration des stratégies environnementales. Elle a permis de satisfaire les besoins énergétiques de pays dans lesquels la croissance de la demande énergétique est rapide (FIORE, 2006). Grâce à l'énergie nucléaire, la France est l'un des pays les moins émetteurs de gaz à effet de serre au monde. Toutefois, la croissance de l'énergie nucléaire est confrontée à un triple défi, à savoir, la sécurité opérationnelle, l'élimination des déchets radioactifs et le risque de la prolifération des matières nucléaires, ainsi que le défi de l'acceptation publique de l'énergie nucléaire (TOTH et ROGNER, 2006). Par conséquent, la transition énergétique est censée s'orienter principalement vers les ENR.

La transition énergétique vers des énergies bas-carbone est désormais un paradigme dominant des politiques publiques liées à l'énergie. TORVANGER et MEADOWCROFT (2011), SHRIMALI et KNIEFEL (2011) et AKLIN et URPELAINEN (2013) soulignent l'importance de l'orientation des politiques publiques dans l'accompagnement de la transition énergétique et le déploiement des ENR. Favoriser l'essor des ENR nécessite une transformation technologique radicale du système énergétique mondial ainsi que la mise en place rapide de politiques visant à encourager des efforts concertés et coordonnés pour intégrer les préoccupations mondiales dans les politiques locales et nationales. Les combustibles fossiles continuent de dominer le paysage énergétique en grande partie à cause d'une défaillance du marché, qui amène à négliger le coût de leurs externalités négatives (UNRUH, 2000). Les combustibles fossiles bénéficient, en raison des siècles de développement industriel, d'énormes avantages structurels, ce qui les rend plus matures que les nouvelles ENR (solaire et éolienne). Ces handicaps sont encore aggravés par les subventions accordées aux combustibles fossiles (OCDE, 2015). Par conséquent, l'action gouvernementale est nécessaire pour accompagner les trajectoires de la transition énergétique (UNRUH, 2002 ; LOORBACH, 2010). Le développement des ENR requiert la mise en place de mesures incitatives permettant de pallier des coûts très supérieurs à ceux des énergies « classiques », notamment le nucléaire (ACKET et VAILLANT, 2011). Dans cette perspective, la plupart des pays de l'Union européenne ont mis en place au début des années 2000 un mécanisme de prix d'achat garantis visant à favoriser l'essor des ENR. L'électricité d'origine renouvelable bénéficie d'un prix rémunérateur garanti, fixé par les pouvoirs publics, et d'une obligation d'achat dans le cadre d'un contrat à long terme avec l'opérateur historique (HANSEN et PERCEBOIS, 2017). Par ailleurs, le paquet législatif climat-énergie, adopté le 12 décembre 2008 par le Conseil Européen, fixe un objectif de 20 % d'ENR dans la consommation finale d'énergie à l'horizon 2020. En adoptant la loi de transition

énergétique pour la croissance verte (loi n°2015-992) le 17 août 2015, la France s'est engagée à porter la part des ENR à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % en 2030.

La réalisation de tels objectifs nécessite une participation active des collectivités territoriales et de l'ensemble de leurs compétences (JEULIN et DELBOSC, 2011). Les ENR sont fortement liées à la notion de territoire puisqu'elles constituent un mode de production énergétique décentralisé valorisant les ressources naturelles locales (soleil, bois, vent, cours d'eau...). La déréglementation progressive des marchés de l'électricité et du gaz (réalisée sous l'impulsion de la Communauté Européenne dans les années 2000), effective depuis le 1^{er} juillet 2007, a favorisé une plus grande autonomie des territoires en matière de politique énergétique ; elle a conforté le rôle essentiel des collectivités territoriales dans la distribution de l'énergie et a élargi leurs compétences en matière de production d'énergie (SÉNAT, 2013). Les deux lois « Grenelle » (loi n° 2009-967 du 3 août 2009 et loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010) ont conféré aux collectivités territoriales un rôle majeur dans la mise en place de la transition énergétique en étendant leur champ de compétences dans le domaine de la politique énergétique, en leur permettant de développer des actions en faveur de la maîtrise de l'énergie et d'intervenir dans le domaine de la production des sources d'ENR. La mise en place du « Plan d'action national en faveur des énergies renouvelable » pour la période 2009-2020 a impulsé une véritable dynamique de territorialisation des ENR. Pour exercer ses missions, la région dispose du Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE), créé par la loi 2010-788 du 12 juillet 2010, dite « loi Grenelle II ». Ce schéma doit définir, à partir d'un état des lieux, des objectifs et des orientations aux horizons 2020 et 2050 (DE CHARENTENAY *et al.*, 2012). Des Schémas Régionaux de Raccordement au Réseau des ENR (S3REnR) ont été mis en place pour favoriser la réalisation des objectifs fixés par les SRCAE.

Les stratégies régionales sont définies et mises en œuvre au niveau local par les collectivités territoriales (communes, Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), agglomérations, *etc.*) qui sont fortement mobilisées. En effet, outre l'enjeu environnemental, la création de nouvelles filières énergétiques durables et territorialisées est susceptible de générer des emplois locaux non délocalisables. L'énergie peut être vue comme « une contrainte, ou au contraire une opportunité pour le développement d'un territoire dont l'organisation spatiale est plus ou moins largement influencée par les modalités de son approvisionnement énergétique » (MÉRENNE-SCHOUMAKER, 2011). Les stratégies régionales de développement des ENR ainsi que le choix des filières (solaire photovoltaïque, solaire thermique, hydroélectricité éolien, biomasse et géothermie) sont donc très diversifiés.

L'objectif de cet article est de proposer un état des lieux du développement des ENR en France en 2015 afin d'évaluer les performances régionales en matière de diversification du bouquet énergétique. La connaissance de leur répartition spatiale et des disparités écologiques constitue un enjeu majeur pour le développement territorial et pour les politiques publiques (ZUINDEAU, 2005). Le territoire est-il un lieu de cumuls de handicaps socio-économiques et environnementaux ? Est-ce que le déploiement des ENR ne va pas renforcer les inégalités, en raison de

l'inégalité des ressources entre territoires (ensoleillement et mistral dans le sud de la France) et est-ce que ces nouvelles inégalités potentielles ne vont pas s'ajouter aux inégalités existantes ? Quels sont les bénéfices économiques et sociaux des politiques environnementales ?

Plusieurs questions motivent cette recherche : i) comprendre les mécanismes du développement territorial des ENR, ii) comprendre leur répartition spatiale et expliquer les différences régionales, iii) identifier les leviers et les freins au développement des ENR et iv) évaluer l'efficacité des politiques publiques par rapport aux objectifs fixés.

Nous établissons une typologie des régions françaises caractéristique du développement régional des ENR afin de mettre en évidence des profils territoriaux différents selon les filières énergétiques, cette typologie est réalisée à partir de données relatives aux bilans énergétiques des régions (production et consommation par type d'énergie) pour l'année 2015. L'originalité de la contribution réside dans la dimension spatiale retenue. Bien que la dimension régionale s'avère la plus pertinente pour évaluer et analyser le développement des ENR, à notre connaissance, aucune analyse statistique comparative n'a été réalisée à cette échelle à ce jour. Les travaux de recherche se sont focalisés sur des comparaisons réalisées à l'échelle des pays¹ ou des États américains (BIRD *et al.*, 2005 ; MENZ et VACHON, 2006).

L'approche adoptée repose sur une complémentarité de méthodes d'analyses de données multidimensionnelles qui tiennent compte des caractéristiques régionales du développement des ENR. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a été appliquée sur les facteurs principaux de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) du développement des ENR des 22 régions de France métropolitaine afin de les regrouper en classes de régions homogènes relativement à leur bouquet énergétique et au développement des ENR. Puis, afin de consolider et d'enrichir la caractérisation de ces classes, nous avons considéré un large éventail de variables dites « thématiques », constituées à la fois de variables environnementales, économiques, démographiques, géographiques, climatiques et politiques. Plus précisément, nous explorons les déterminants potentiels de la localisation des ENR au niveau des régions.

- 2 - Les données

Notre objectif est d'établir une typologie des 22 régions de France métropolitaine² relativement à leur bouquet énergétique et au développement des ENR pour l'année 2015. Les spécificités régionales sont appréhendées à partir de variables représentant le poids des ENR dans la consommation finale, les parts des différentes filières³ (hydraulique, éolien, photovoltaïque, thermique et biomasse) dans la production d'électricité renouvelable, le poids du nucléaire et des combustibles fossiles, les

consommations par habitant des biocarburants dans le transport et de la biomasse et de l'énergie solaire thermique dans la chaleur.

Nous avons également retenu l'intensité énergétique en tant qu'indicateur structurel régional. Toutes ces variables caractéristiques du développement des ENR, dites actives, sont décrites dans le Tableau 1. Les données ont été collectées auprès de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) et du Service de l'Observation et des statistiques (SOES).

Les statistiques élémentaires des quatorze variables actives utilisées pour élaborer la typologie des régions françaises relativement au développement des ENR figurent dans le Tableau 2.

L'examen des moyennes et des indicateurs de dispersion relatifs aux variables actives révèle de fortes disparités entre les régions. La part moyenne des ENR dans la consommation finale d'énergie atteint 25,44 %, elle varie de 8,48 % dans la région Nord-Pas-de-Calais à 60,34 % pour le Limousin. Si l'on considère le coefficient de variation qui permet de comparer le niveau d'homogénéité ou de dispersion relative des données autour de la moyenne, il varie de 22,52 % pour la consommation de combustibles fossiles par habitant à 132,84 % pour la production d'électricité nucléaire par habitant. Hormis la consommation de combustibles minéraux solides par habitant, la consommation des biocarburants par habitant et l'intensité énergétique semblent relativement homogènes au sein des 22 régions, le mix énergétique présente de fortes spécificités régionales. Nous notons que les productions d'électricité nucléaire et d'électricité primaire par habitant ainsi que les parts de la biomasse, de l'éolien, du photovoltaïque, du thermique et de l'hydraulique dans la production totale d'électricité renouvelable varient fortement, ce qui témoigne d'un développement régional des ENR très contrasté.

Étant donné les différences des unités de mesure des variables et les écarts importants entre les dispersions des variables, nous avons choisi de travailler sur des données centrées et réduites.

Afin de décrire *a posteriori* les classes de régions selon le développement des ENR caractérisées par les variables actives, nous considérons un large éventail de variables dites illustratives (voir Annexe Tableau 3) permettant de mieux comprendre les spécificités régionales en termes de bouquet énergétique et de développement des ENR. Ces variables n'influent en aucun cas sur la détermination des classes mais sont susceptibles de fournir une interprétation externe : des informations supplémentaires pour consolider et enrichir l'interprétation interne de la caractérisation des classes de régions établie à partir des variables actives. Elles sont positionnées et projetées comme des variables supplémentaires dans l'analyse multidimensionnelle des variables actives. Nous considérons six thématiques regroupant des variables représentatives des caractéristiques : i) environnementales, ii) démographiques, iii) du développement économique, iv) de la spécialisation sectorielle, v) climatiques et géographiques, ainsi que vi) des spécificités politiques.

Tableau 1 – Caractéristiques du développement des ENR

Abréviation	Variable	Définition
Part.ENR.CFTE	La part des ENR dans la consommation finale totale d'énergie (%)	La somme de la consommation des énergies éolienne, solaire, hydraulique et biomasse divisée par la consommation finale totale d'énergie.
Part.ELRN.EPT	La part de l'électricité renouvelable ^a (ELR) dans la production totale de l'électricité primaire (PTEM) (%)	La somme de la production d'électricité éolienne, photovoltaïque, thermique et hydraulique et l'électricité produite à partir des bioénergies divisée par la PTEM
PELRN. hab	La production de l'ELR par habitant (GWh/hab)	La somme de la production d'électricité éolienne, photovoltaïque, thermique ^b et hydraulique et l'électricité produite à partir de la biomasse divisée par le nombre d'habitants de la région
PTEM.hab	La PTEM par habitant (GWh/hab)	L'électricité produite à partir de sources fossile, nucléaire et renouvelable divisée par le nombre d'habitants de la région
PEN.hab	La production d'électricité nucléaire par habitant (GWh/hab)	
CCF.hab	La consommation de combustibles fossiles par habitant (KTEP/hab)	La somme de la consommation de charbon, de produits pétroliers et de gaz naturel divisée par le nombre d'habitants dans la région
Part.hydr.PELRN	La part de la production d'électricité hydraulique dans la production d'ELR (%)	La production d'électricité hydraulique divisée par la production totale d'ELR
Part.eolien.PELRN	La part de la production d'électricité éolienne dans la production d'ELR (%)	La production d'électricité éolienne divisée par la production totale d'ELR
Part.phot.PELRN	La part de la production d'électricité photovoltaïque dans la production d'ELR (%)	La production d'électricité photovoltaïque divisée par la production totale d'ELR
Part.therm.PELRN	La part de la production d'électricité thermique dans la production d'ELR (%)	La production d'électricité thermique (électricité produite à partir de la biomasse (cogénération), de l'énergie solaire et de la géothermie) divisée par la production totale d'ELR.

Tableau 1 – (suite)

Part.biom.PELRN	La part de la production d'électricité produite par la filière biomasse ^c dans la production d'ELR (%)	La production d'électricité produite par la filière biomasse divisée par la production totale d'ELR.
Cons.CH. RN.hab	La consommation de la chaleur renouvelable ^d par habitant (KTEP/hab)	La consommation de la chaleur renouvelable (bois énergie et énergie solaire thermique) divisée par le nombre d'habitants de la région
Cons.Bioc.hab	La consommation des biocarburants par habitant (KTEP /hab)	La consommation des biocarburants divisée par le nombre d'habitants de la région
IE	L'intensité énergétique (TEP/1 000 €)	Le rapport de la consommation finale d'énergie au produit intérieur brut exprimé en volume

a. La production totale d'ELR (hydraulique, éolien, photovoltaïque, thermique et biomasse) est utilisée pour calculer la part de l'ELR dans l'électricité globale (Part.ELRN.EPT), pour calculer la production de l'ELR par habitant (PELRN.hab) et également pour calculer toutes les parts des ENR dans la production totale d'ELR.

b. La production totale d'ELR (hydraulique, éolien, photovoltaïque, thermique et biomasse) est utilisée pour calculer la part de l'ELR dans l'électricité globale (Part.ELRN.EPT), pour calculer la production de l'ELR par habitant (PELRN.hab) et également pour calculer toutes les parts des ENR dans la production totale d'ELR.

c. La production de l'électricité à partir de la biomasse provient des chaufferies de bois, des usines d'incinération de déchets et des matières végétales ou animales (cogénération) et de la production de biogaz par méthanisation. On compte uniquement l'électricité produite à partir des chaufferies de bois et de la méthanisation. Celle issue de la cogénération est comptabilisée dans l'électricité thermique.

d. La consommation de la chaleur renouvelable est la somme de trois consommations pour le chauffage : le bois énergie (filère de la biomasse), l'énergie solaire thermique et la géothermie (variable dont on ne dispose pas).

Les variables environnementales concernent en particulier les émissions de gaz à effet de serre (GES), des mesures de dégradation de l'environnement ainsi que des dépenses pour la protection de l'environnement. De nombreux travaux (par exemple SADORSKY, 2009a ; VAN RUIJVEN et VAN VUEN, 2009) suggèrent que les préoccupations environnementales incitent à une utilisation accrue des ENR. MARQUES *et al.* (2010) ont montré que le niveau d'émissions de CO₂ constitue un facteur déterminant du déploiement des ENR dans 24 pays européens sur la période 1990-2006. Des différences régionales relatives à la qualité de l'environnement sont susceptibles d'entraîner un développement contrasté des ENR. Nous supposons qu'un niveau élevé de GES est de nature à promouvoir les ENR.

Les variables économiques se réfèrent aux performances économiques (PIB par habitant, taux de croissance du PIB, taux de chômage, dépenses pour l'éducation,

Tableau 2 – Statistiques sommaires

	Moyenne	Min	Max	Écart-type (N)	Coefficient de Variation (%)
Part.ENR.CTE (%)	25,44	8,48	60,34	16,16	63,52
Part.ELRN.EPT (%)	43,49	2,56	99,18	34,80	80,02
PELRN.hab (GWh/hab)	1,63E-03	1,61E-04	4,62E-03	1,27E-03	77,91
PTEM.hab (GWh/hab)	8,68E-03	5,89E-04	2,96E-02	9,12E-03	105,07
PEN.hab (GWh/hab)	7,37E-03	0,00	3,07E-02	9,79E-03	132,84
CCF.hab (KTEP/hab)	1,23E-03	8,00E-04	1,78E-03	2,77E-04	22,52
Part.hydr.PELRN (%)	36,70	0,04	95,88	34,66	94,44
Part.eol.PENR (%)	34,35	0,00	87,41	30,33	88,30
Part.phot.PELRN (%)	10,16	1,24	27,09	7,77	76,48
Part therm.PELRN (%)	9,24	0,00	53,81	12,08	130,74
Part.biom.PELRN (%)	9,56	1,13	38,20	8,31	86,92
Cons.CH.RN.hab (KTEP/hab)	2,30E-04	6,59E-05	6,45E-04	1,42E-04	61,74
Cons.Bioc.hab (KTEP/hab)	6,17E-05	3,23E-05	1,16E-04	1,52E-05	24,64
IE (TEP/1 000 €)	8,73E-02	3,20E-02	1,37E-01	2,09E-02	23,94

la santé, la R&D...) ainsi qu'à la structure de l'économie (spécialisation sectorielle : parts relatives des différents secteurs et branches industrielles dans la VA et dans l'emploi). Une littérature abondante (SADORSKY, 2009b ; MARQUES *et al.*, 2010, 2011 ; APERGIS et PAYNE, 2011 ; APERGIS et DANULETIU, 2014) a établi un lien positif entre la croissance économique et l'utilisation des ENR. L'étude de SADORSKY (2009b) portant sur les pays du G7, met en exergue une relation positive entre la consommation des ENR et la croissance économique ainsi qu'une causalité bidirectionnelle. Dans le long terme, l'augmentation du PIB réel par habitant apparaît comme un déterminant principal de la consommation d'ENR. APERGIS et DANULETIU (2014) ont examiné la relation entre la consommation d'ENR et la croissance économique pour 80 pays. Leurs résultats indiquent qu'il existe à long terme une relation positive entre la consommation des ENR et le PIB réel et confirment que la consommation d'ENR favorise la croissance économique qui à son tour stimule le recours aux sources d'ENR. Un niveau de revenu plus élevé signifie un plus grand potentiel à supporter des coûts réglementaires élevés (ce qui peut entraîner à la fois des prix et des taxes plus élevés) et également plus de ressources disponibles pour mettre en œuvre et promouvoir des alternatives environnementales durables (et une plus grande utilisation des ENR). Selon ZUINDEAU (2005), l'accès à un certain seuil de développement rend « la croissance vertueuse ». Plusieurs arguments plaident en faveur de cette vision « optimiste » de la croissance : i) le développement économique et son corollaire la tertiarisation de l'économie réduisent l'impact environnemental, ii) l'accroissement du niveau d'éducation et du niveau de vie peuvent induire une forte sensibilité aux préoccupations environnementale et modifier les comportements de consommation, enfin iii) l'innovation et le progrès techniques contribuent activement au développement des techniques de dépollution et à la mise en place de technologies propres. Nous supposons donc que les disparités régionales en termes de performance économique et de spécialisation sectorielle (STERLACCHINI, 2006 ; BEUGELSDIJK *et al.*, 2018) peuvent induire des mix énergétiques différenciés ainsi qu'un développement contrasté des ENR.

Les variables démographiques (population, densité de population, urbanisation) sont prépondérantes pour évaluer les consommations énergétiques. SHAFIEI et SALIM (2014) ont analysé l'impact de l'urbanisation sur la consommation des énergies renouvelables et non renouvelables dans les pays de l'OCDE sur la période 1980-2011. Leurs résultats attestent que l'urbanisation a contribué à la croissance totale de la consommation d'énergie et en particulier à la croissance des consommations d'énergies non renouvelables. Ils ont également mis en évidence une relation significativement négative entre la densité de la population et la consommation d'énergie non renouvelable. En revanche, aucune relation significative n'a pu être établie entre l'urbanisation et l'utilisation des ENR. YANG *et al.* (2016) ont montré que l'urbanisation a un effet positif sur la croissance de la consommation des ENR en Chine. Si la relation entre les variables démographiques et le développement des ENR à l'échelle régionale ne semble pas évidente, on peut cependant conjecturer que les solutions énergétiques dans un territoire urbain ou rural seront différentes. Par exemple, les parcs éoliens et photovoltaïques se développeront en milieu rural.

Les consommations et productions d'énergie sont étroitement liées aux variables climatiques et géographiques. La production d'électricité française est concentrée dans certaines zones du territoire national : l'hydraulique s'est développé dans les régions montagneuses ayant des réserves en eau, le nucléaire nécessite également des ressources en eau importantes, l'éolien devrait se développer plutôt dans des régions fortement exposées au vent, le photovoltaïque dans les régions bénéficiant d'un fort ensoleillement.

CADORET et PADOVANO (2016) mettent en évidence le rôle des facteurs politiques dans le développement des ENR dans 26 pays européens sur la période 2004-2011. Ils constatent que le lobbying de l'industrie manufacturière retarde le déploiement de l'ENR, alors que la qualité de la gouvernance a un effet positif. Enfin, ils observent que le poids des partis de gauche favorise l'utilisation des ENR. MARQUES *et al.* (2010) soulignent également que le lobby des industries des hydrocarbures constitue un frein au déploiement des ENR. Nous supposons qu'à l'échelle régionale, le poids des partis « verts » peut influencer l'essor des ENR au même titre que l'adoption d'objectifs SCRAE ambitieux.

- 3 -

Les résultats empiriques

Dans le but d'étudier l'engagement des régions dans la transition énergétique et leur performance en termes de développement des ENR, nous utilisons des méthodes d'analyse de données multidimensionnelles. Il s'agit d'élaborer une typologie des régions françaises selon le développement des ENR en France pour l'année 2015 afin de mettre en évidence les similitudes et les dissemblances entre régions. Pour enrichir les profils des classes de régions établies nous introduisons *a posteriori* dans l'analyse de nombreuses variables regroupées en six thèmes.

L'approche adoptée repose sur une complémentarité de méthodes d'analyses de données multidimensionnelles qui tiennent compte des caractéristiques du développement des ENR des régions. Une méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) (LEBART *et al.*, 2000 ; SAPORTA, 2006) selon le critère de WARD⁴, a été appliquée sur les facteurs principaux de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) des caractéristiques du développement des ENR. Le dendrogramme de la Figure 1 produit par la classification représente l'arbre hiérarchique des 22 régions selon le développement des ENR en France. La CAH a conduit à une « meilleure » partition en cinq classes homogènes. Le Tableau 4 présenté en annexe résume la description des classes de la typologie selon les variables des six thématiques illustratives considérées. Un nom générique spécifique a été attribué à chacune des cinq classes. Pour mieux visualiser les cinq classes identifiées, nous les avons représentées sur la Figure 2. La classification établie met en évidence des spécificités régionales et des performances contrastées entre les régions en matière de développement des ENR.

Figure 1 – Arbre hiérarchique des régions selon le développement des ENR en 2015

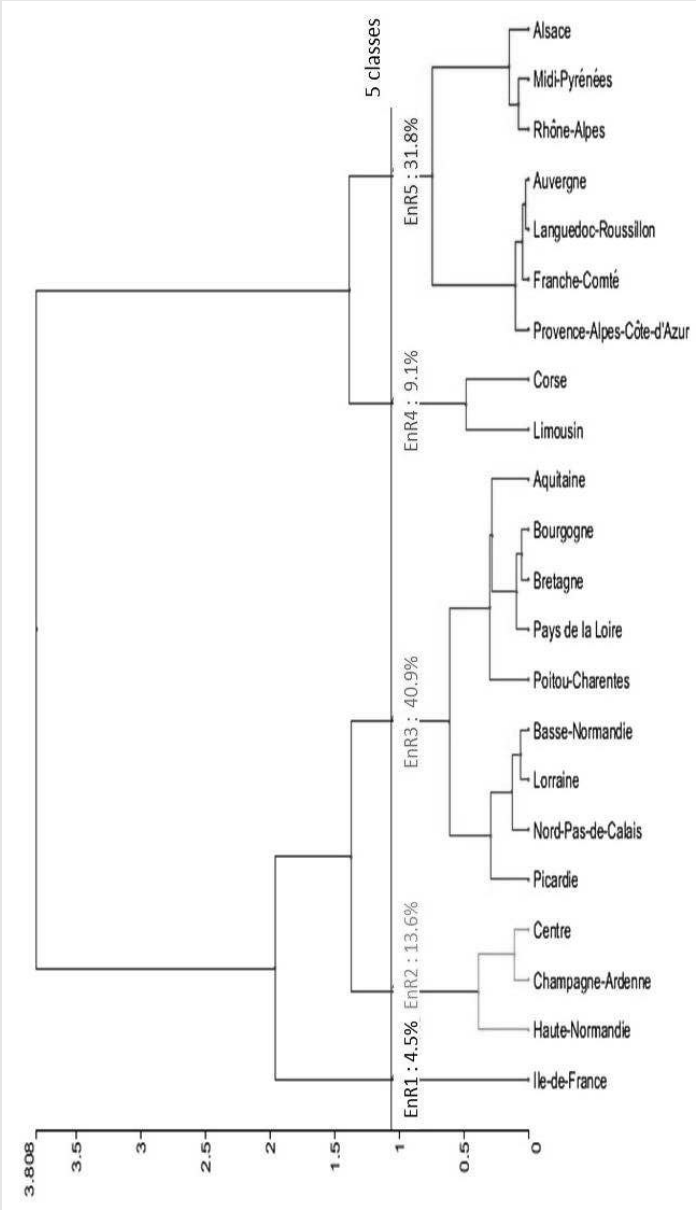
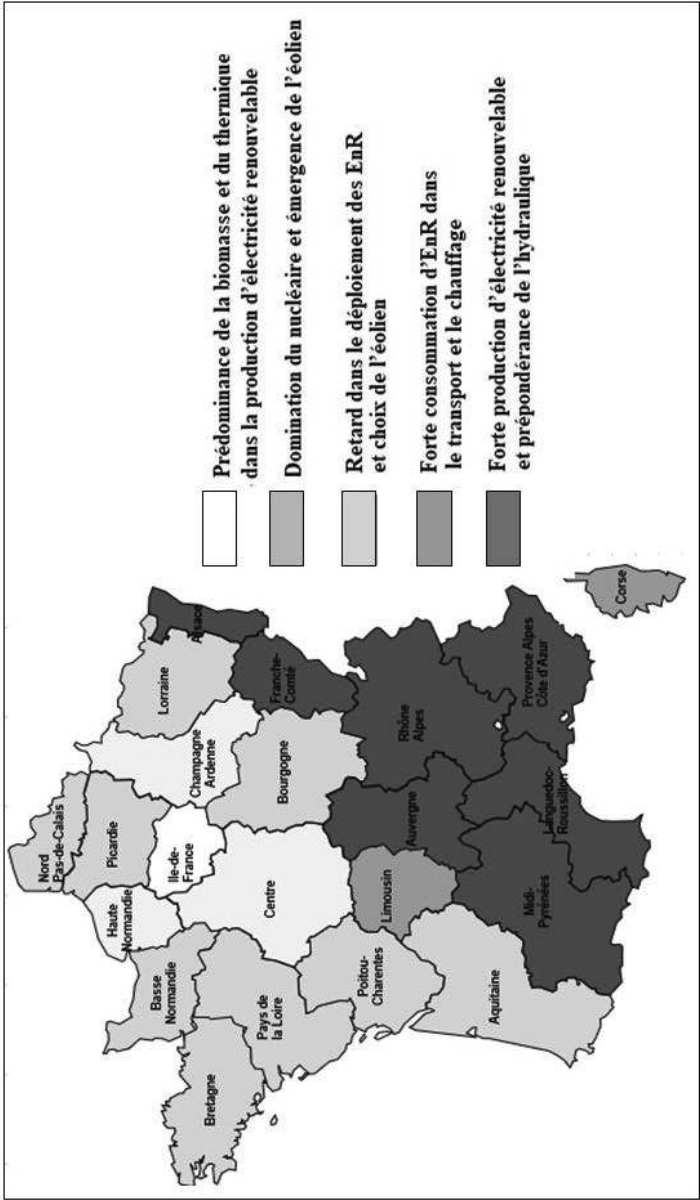


Figure 2 – Répartition des régions françaises selon le développement des ENR en 2015



3.1. Classe EnR1 : Prédominance de la biomasse et du thermique dans la production d'électricité renouvelable

La première classe est constituée d'une seule région, l'Île-de-France. La production d'électricité de l'Île-de-France est largement orientée vers la biomasse et le thermique. Les parts de la production d'électricité produite par les filières bioénergie et thermique sont significativement supérieures aux moyennes nationales, elles atteignaient respectivement 38 % et 54 % en 2015, contre seulement 9,5 % et 9 % pour l'ensemble des régions. Cette classe se caractérise également par une forte efficacité énergétique : l'intensité énergétique s'établissait à un niveau très inférieur (0,03199 TEP/1 000 €) à celui de la moyenne nationale (0,087 TEP/1 000 €). Les productions totales d'électricité primaire et d'électricité nucléaire par habitant ainsi que la consommation de combustibles fossiles par habitant sont significativement inférieures aux moyennes nationales.

Nous constatons que la région fictive des DOM est affectée *a posteriori* à la classe EnR1, car elle présente des caractéristiques similaires à celles de l'Île-de-France en matière de développement des ENR. En effet, les DOM se distinguent notamment par l'importance des filières bioénergie et thermique⁵ dans la production d'électricité (respectivement 45,7 % et 14,3 %), l'absence de nucléaire, une production d'électricité primaire par habitant et une intensité énergétique faibles.

Il s'agit d'une région fortement peuplée et urbanisée à forte densité de population. La population est plus éduquée que la moyenne nationale, le niveau de vie, évalué par le PIB par habitant et le revenu par habitant, est également significativement plus élevé. L'Île-de-France affiche une forte spécificité sectorielle avec une tertiarisation marquée de l'économie : le poids des services dans la valeur ajoutée atteint 87 % contre 74 % pour la moyenne nationale alors que les poids de l'agriculture et de l'industrie sont plutôt faibles. L'emploi dans le secteur des services en % de l'emploi total est également significativement élevé. La région Île-de-France est celle qui consacre le plus faible montant d'investissement pour lutter contre la pollution de l'air et le climat, elle dépense 1,07 euros par habitant alors que la moyenne nationale est de 5,82 euros par habitant. Enfin, nous observons que le score des partis écologistes obtenu aux élections régionales est significativement supérieur à la moyenne des scores réalisés sur les 22 régions (8,3 % contre 4,2 %).

Notons, que la production d'électricité en Île-de-France couvre en moyenne 5 % de la consommation régionale. La région dépend donc largement des régions voisines excédentaires pour importer l'électricité dont elle a besoin. De plus, bien qu'étant la région la plus riche de France, l'Île-de-France ne présente pas une consommation d'ENR supérieure à la moyenne nationale. La région est même très en retard par rapport à l'objectif fixé dans le cadre des Schémas Régionaux Climat Air Énergie (SRCAE) d'atteindre 23 % d'ENR dans la consommation totale à l'horizon 2020, cette part s'établissait à 9 % en 2015. Il apparaît qu'à l'échelle régionale la relation positive entre la croissance économique et la consommation d'ENR (ZUINDEAU, 2005 ; SADORSKY, 2009b ; MARQUES *et al.*, 2010 ; APERGIS et PAYNE, 2011 ; APERGIS et DANULETIU, 2014) n'est pas avérée. Le faible développement des ENR peut être lié

à la forte densité de la population (SHAFIEI et SALIM, 2014) et à son urbanisation qui restreignent le développement de grands parcs éoliens et photovoltaïques. Enfin, contrairement aux conclusions établies par CADORET et PADOVANO (2016), le poids des partis écologistes ne se traduit pas par une utilisation soutenue des ENR.

3.2. Classe EnR2 : Domination du nucléaire et émergence de l'éolien

Cette classe est constituée de 3 régions : le Centre, la Haute-Normandie et la Champagne-Ardenne. Ces régions sont fortement productrices d'électricité primaire principalement d'origine nucléaire. Les productions d'électricité primaire et nucléaire par habitant sont significativement supérieures à la moyenne nationale. Ces trois régions totalisent 22 des 58 réacteurs nucléaires installés en France, elles contribuent largement à l'approvisionnement en électricité de la région Île-de-France, qui leur est frontalière. La part de l'électricité renouvelable dans la production d'électricité primaire est faible, elle atteignait 4,81 % en 2015, contre 43,49 % pour l'ensemble des régions. Le bouquet énergétique de cette classe est donc peu diversifié. L'éolien est l'énergie renouvelable dominante pour la production d'électricité renouvelable, sa part était de 66,02 % en 2015 et se situait largement au-dessus de la moyenne nationale (34,35 %). En revanche, la part de l'hydraulique est significativement inférieure à la moyenne nationale (5,54 % contre 36,70 %).

Ces régions affichent une forte spécificité sectorielle, ce sont des régions plutôt très industrialisées et peu orientées vers les services. La part de l'industrie dans la valeur ajoutée ainsi que la production industrielle par habitant sont élevées alors que la part des services dans la valeur ajoutée est plutôt faible. Le tissu industriel régional est caractérisé par l'implantation d'industries "lourdes", intensives en énergie. La part des secteurs de la cokéfaction et du raffinage dans la valeur ajoutée est très forte (1,76 % contre 0,42 % au niveau national). Cette classe présente également un taux de croissance du PIB par habitant inférieur à la moyenne nationale, il s'établissait à 0,42 % en 2015 contre 1,48 % pour l'ensemble des régions métropolitaines.

Nous remarquons que les variables environnementales sont très significatives dans cette classe. Les régions présentent un niveau élevé d'émissions de gaz à effet de serre. Pour lutter contre la pollution de l'air et le réchauffement climatique, liées à la présence d'industries fortement émettrices ; ces régions investissent énormément et consacrent en moyenne 14,57 € par habitant alors que la moyenne nationale se situe à seulement 5,81 € par habitant.

3.3. Classe EnR3 : Retard dans le déploiement des ENR et choix de l'éolien

Cette classe regroupe 9 régions : la Basse-Normandie, l'Aquitaine, la Bourgogne, la Bretagne, la Lorraine, la Nord-Pas-de-Calais, les Pays de la Loire, la Picardie et le Poitou-Charentes. Dans cette classe le développement des ENR accuse un retard important, la production d'électricité renouvelable par habitant est de $8,1 \cdot 10^{-4}$

GWh/hab contre $16,6 \cdot 10^{-4}$ GWh/hab au niveau national et la part des ENR dans la consommation finale totale d'énergie est également significativement inférieure (17,21 % contre 25,44 %). La production d'électricité d'origine hydraulique est limitée, elle représente 11,92 % de l'électricité renouvelable produite, contre 36,70 % au niveau national. Comme dans la classe EnR2, l'éolien se place en première position pour la production d'ENR, sa part est significativement supérieure à la moyenne nationale, elle était de 54,56 % en 2015 (34,35 % pour la France métropolitaine). Dans cette classe, la part de la production d'électricité photovoltaïque dans la production d'ENR se situe à un niveau supérieur à la moyenne nationale puisqu'elle atteint 13,46 % avec des niveaux records en Poitou-Charentes (27,1 %) et en Aquitaine (24,1 %), contre seulement 10,15 % en moyenne pour la France métropolitaine. Cette classe se caractérise également par une faible efficacité énergétique : l'intensité énergétique s'établissait à un niveau très supérieur ($0,0976 \text{ TEP}/1\ 000 \text{ €}$) à celui de la moyenne nationale ($0,087 \text{ TEP}/1\ 000 \text{ €}$).

L'emploi dans le secteur agricole ainsi que la part de la valeur ajoutée brute dans les secteurs de la fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac restent importants dans ces régions. Nous observons également des dépenses en R&D par habitant plutôt faibles, ce qui peut constituer un frein au développement des ENR. ZUINDEAU (2015) souligne que l'innovation et le progrès techniques sont favorables au déploiement de technologies propres. Le climat est majoritairement de type continental, le nombre d'heures d'ensoleillement annuel est plutôt inférieur à la moyenne nationale. Cette classe regroupe les régions du Nord et de l'Ouest de la France constituées de plaines, de bas-plateaux et de larges vallées, elle présente donc un faible potentiel hydraulique. Enfin, ces régions se sont fixées un objectif peu ambitieux en matière de développement des énergies renouvelables, l'objectif retenu dans le cadre des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) est de 23,3 % d'ENR dans la consommation totale d'énergie à l'horizon de 2020 alors que la moyenne nationale s'établit à 27,4 %. Les régions Pays de la Loire et Picardie apparaissent les moins impliquées avec des objectifs respectifs de 15 % et 21 %.

3.4. Classe EnR4 : Forte consommation d'ENR dans le transport et le chauffage

La quatrième classe regroupe le Limousin et la Corse, ce sont les régions les plus performantes en termes de consommation d'ENR, leur part dans la consommation finale totale d'énergie atteignait 57,02 % (60,34 % pour le Limousin et 53,69 % pour la Corse), contre 25,44 % pour l'ensemble des régions métropolitaines en 2015. Les ENR sont largement consommées dans les secteurs du transport et de la chaleur. Ainsi, les consommations par habitant de chaleur d'origine renouvelable - biomasse et énergie solaire thermique - ($6,2 \cdot 10^{-4}$ contre $2,3 \cdot 10^{-4}$ KTEP/hab) et de biocarburants ($9,4 \cdot 10^{-5}$ contre $6,2 \cdot 10^{-5}$ KTEP/hab) sont significativement plus élevées que la moyenne nationale. Cette classe est également caractérisée par une faible consommation des combustibles fossiles ($0,8 \cdot 10^{-3}$ contre $1,2 \cdot 10^{-3}$ KTEP/hab). En ce qui concerne les productions d'électricité, la classe 4 ne se différencie pas significativement des moyennes des 22 régions métropolitaines.

La population est plutôt vieillissante, la proportion de la population âgée de plus de 40 ans est supérieure à la moyenne nationale alors que la part de la population âgée de moins de 20 ans est sous-représentée. Au regard des indicateurs de performance économique, ces régions se distinguent par des dépenses par habitant plutôt élevées concernant à la fois les dépenses totales, les dépenses d'investissement et les dépenses pour l'éducation. De plus, le tissu industriel de ces régions est basé principalement sur les secteurs de la construction et de l'industrie extractive, l'énergie, l'eau, la gestion des déchets et de la dépollution. Les parts des valeurs ajoutées de ces secteurs dans la valeur ajoutée industrielle sont plutôt élevées par rapport aux parts moyennes nationales. En revanche, la part du secteur de la fabrication d'autres produits industriels (fabrication de textile, Industrie de papier, Industrie chimique et pharmaceutique, fabrication de produits métalliques, en caoutchouc et en plastique) dans la valeur ajoutée industrielle est plutôt faible. Les températures, les heures d'ensoleillement ainsi que la vitesse moyenne du vent sont plutôt supérieures aux moyennes nationales, ce qui devrait favoriser l'essor des filières éolienne et photovoltaïque, néanmoins ces régions ne se distinguent pas des moyennes nationales. Dans le cadre des Schémas Régionaux Climat Air Énergie (SRCAE), ces régions se sont fixées un objectif particulièrement ambitieux en matière de développement des ENR : 39 % de la consommation totale à l'horizon de 2020. Notons que cet objectif est d'ores et déjà atteint puisque la part des ENR dans la consommation finale totale d'énergie était de 57,02 % en 2015. Enfin, nous observons que le score des partis écologistes obtenu aux élections régionales de 2015 est plutôt faible par rapport à la moyenne des scores sur les 22 régions (0,93 % contre 4,19 %). Il semble qu'au niveau régional le score des partis écologistes n'influence pas le développement des ENR, contrairement au résultat établi par CADORET et PADOVANO (2016) pour les pays européens.

3.5. Classe EnR5 : Forte production d'électricité renouvelable et prépondérance de l'hydraulique

Cette dernière classe, rassemble les régions : Alsace, Auvergne, Franche-Comté, Languedoc-Roussillon, Midi-Pyrénées, Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Ces régions sont leaders en termes de production d'électricité renouvelable. En effet, la production d'électricité renouvelable par habitant ($2,7 \cdot 10^{-3}$ contre $1,6 \cdot 10^{-3}$ GWh/hab) ainsi que sa part dans l'électricité primaire totale (66,74 % contre 43,49 %) sont significativement supérieures aux moyennes nationales. La production d'électricité renouvelable est essentiellement d'origine hydraulique (77,89 %, contre 36,70 % pour la moyenne nationale). Les parts des filières biomasse et éolienne dans la production d'électricité renouvelable sont significativement inférieures aux moyennes de l'ensemble des régions métropolitaines, elles atteignaient respectivement 3,24 % et 8,21 % contre respectivement 9,56 % et 34,35 % pour l'ensemble des 22 régions.

Ces régions exhibent un niveau de dépenses par habitant en R&D plutôt élevé, propice au développement des ENR (ZUINDEAU, 2015). En revanche les dépenses par habitant pour l'éducation se situent en dessous de la moyenne nationale. Le secteur agricole est peu développé : les parts du secteur agricole en termes de valeur ajoutée et d'emplois sont faibles. Ces régions bénéficient plutôt d'une façade maritime et d'une superficie de forêts importantes, d'un nombre d'heures d'ensoleillement annuel

élevé, ce sont des régions montagneuses, ce qui favorise la production d'électricité d'origine hydraulique.

Ces résultats révèlent de fortes spécificités régionales en matière de mix énergétique et de développement des ENR : cinq types de développement des ENR émergent ont été mis en évidence pour la France métropolitaine en 2015. Par ailleurs, nous observons que les variables des six thèmes illustratifs considérés ont permis d'enrichir les profils des classes de la typologie régionale des ENR.

À titre illustratif, nous avons également projeté le pays France, noté PFR, représentant les caractéristiques du développement des ENR de la France en 2015. Nous observons que ce pays PFR est affecté *a posteriori* à cette classe de régions EnR5. Ce résultat souligne que le profil type du développement des ENR pour la France métropolitaine en 2015 ressemblait plus au profil régional de cette classe EnR5, caractérisé par une forte production d'électricité renouvelable et une prépondérance de l'hydraulique. En 2015, la production d'électricité renouvelable en France reste largement tributaire de l'hydraulique⁶.

Les résultats obtenus révèlent de fortes spécificités régionales en matière de mix énergétique. Nous constatons que les quatorze variables caractéristiques du développement des ENR retenues participent à la caractérisation des classes. Par ailleurs, nous observons que les six thèmes illustratifs considérés ont permis de consolider et d'enrichir la caractérisation des classes de régions.

- 4 -

Conclusion

Bien que la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte place les territoires au cœur de l'action Climat-Air-Énergie, à ce jour, aucune étude comparative du développement des ENR n'a été réalisée à l'échelle régionale. L'originalité de la contribution réside à la fois dans la dimension spatiale retenue, la diversité des variables considérées et dans les méthodes d'analyse de données multidimensionnelles employées. L'objectif de cet article était de réaliser un état des lieux de la transition énergétique en France et plus précisément d'évaluer les performances des régions en matière de diversification de leur bouquet énergétique. Nous avons mobilisé les techniques d'analyse des données afin de proposer une typologie régionale du développement des ENR pour l'année 2015 en France à partir de variables représentatives des bilans énergétiques régionaux. Un vaste ensemble de variables environnementales, économiques, démographiques, climatiques et géographiques ainsi que politiques ont été utilisées pour enrichir l'interprétation des classes de la typologie du développement régional des ENR et mieux comprendre leurs similitudes et/ou dissemblances. La classification établie met en évidence des spécificités régionales fortes et des performances contrastées entre les régions en matière de développement des ENR. Nous constatons que cinq profils types émergent, le développement des ENR s'avère très contrasté selon les filières et les régions.

Dans les trois premières classes, le développement des ENR accuse un retard considérable par rapport aux objectifs fixés dans le cadre des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) à l'horizon 2020. Ainsi dans la classe EnR1, constituée de la région Île-de-France, la production d'électricité primaire par habitant est faible et est majoritairement assurée par la biomasse et le thermique. La classe EnR2 regroupe des régions fortement productrices d'électricité primaire essentiellement d'origine nucléaire. Ces régions sont situées à la périphérie de l'Île-de-France et contribuent largement à l'approvisionnement en électricité de la région capitale. La production d'électricité d'origine renouvelable est très peu développée et s'oriente principalement vers l'éolien. La classe EnR3 enregistre un retard important dans le déploiement des ENR, l'éolien se place également en première position suivi du photovoltaïque dans la production d'électricité renouvelable. Dans les classes EnR4 et EnR5 la part des ENR dans la consommation finale totale d'énergie s'établissait en 2015 à plus de 30 % alors que la part de l'électricité renouvelable dans la production de l'électricité primaire totale était supérieure à 65 %. Ces deux classes respectaient en 2015 les objectifs à atteindre à l'horizon de 2020 dans le cadre des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE) établis en 2012. La production d'électricité d'origine renouvelable est relativement concentrée puisque ces deux classes représentent plus de 71 % de la production nationale et 95 % de la production d'électricité d'origine hydraulique. Les bonnes performances de la classe EnR4 sont en particulier liées au déploiement des ENR dans le transport et le chauffage alors que celles de la classe EnR5 résultent de l'importance de la filière hydraulique sur des territoires constitués de régions montagneuses.

Afin de mieux comprendre les mécanismes du développement territorial des ENR, nous avons considéré un large éventail de variables regroupées en six thèmes : l'environnement, la démographie, le développement économique, la spécialisation sectorielle, le climat et la géographie et enfin la politique.

Nous avons montré que les processus à l'œuvre à l'échelle régionale diffèrent de ceux qui prévalent au niveau national. En particulier, le poids des partis écologistes ainsi que l'importance des émissions de GES ne se traduisent pas par un développement soutenu des nouvelles filières d'ENR. Par ailleurs, bien que les résultats confirment l'hypothèse selon laquelle des disparités régionales en termes de spécialisation sectorielle et de performance économique induisent des mix énergétiques différenciés ainsi qu'un développement contrasté des ENR, il s'avère qu'à l'échelle régionale, le déploiement des ENR ne semble pas plus dynamique dans les régions à forte croissance économique. La classe EnR1, composée de l'Île-de-France, bien que présentant des performances économiques supérieures à celles de l'ensemble de la France métropolitaine est peu impliquée dans le développement des ENR. Ces résultats peuvent s'expliquer par une plus faible hétérogénéité des performances économiques et environnementales à l'échelle des régions que des pays. Les choix en termes de politiques énergétiques et environnementales sont arrêtés au niveau national avant d'être déclinés au niveau régional. Enfin, l'urbanisation et la forte densité de la population en Île-de-France restreignent le développement de grands parcs éoliens et photovoltaïques et entravent le développement des ENR.

Certaines variables géographiques conditionnent fortement le déploiement territorial des ENR : l'hydraulique s'est développé dans les régions montagneuses alors que le nucléaire a été favorisé dans les régions bénéficiant de ressources en eau importantes. En revanche, nous observons que les variables climatiques et en particulier la vitesse moyenne du vent, la température, l'ensoleillement ne constituent pas des facteurs déterminants du développement de l'éolien et/ou du photovoltaïque, ces filières énergétiques se développent de manière indifférenciée sur tout le territoire français. Nous constatons une défaillance dans la valorisation du potentiel énergétique des territoires. Cela résulte des dispositifs de soutien au développement des ENR électriques dont bénéficient largement les filières éolienne et photovoltaïque et qui se traduisent par des subventions d'exploitation au travers d'obligations d'achat et de mécanismes de compensation. Ces subventions ont amené des distorsions de concurrence entre les filières énergétiques et se révèlent économiquement peu efficaces. Ce constat a été établi par la COUR DES COMPTES (2018) qui pointe des dérives du soutien public aux ENR. En particulier, les ENR électriques bénéficient de l'essentiel des dépenses publiques, « les ENR thermiques reçoivent aujourd'hui l'équivalent d'un dixième du volume de soutien public consacré aux ENR alors qu'elles représentent 60 % de la production nationale, hors transports ». Les soutiens octroyés par l'État sont également disproportionnés par rapport à la contribution de certaines filières aux objectifs de développement des ENR, en particulier deux tiers des efforts sont consacrés au photovoltaïque dont la production représente seulement 0,7 % du mix électrique. La France figure parmi les pays d'Europe les plus en retard dans le déploiement des ENR.

Plusieurs préconisations peuvent être proposées de manière à favoriser le développement régional des ENR pour réduire l'empreinte carbone de la France et accroître son efficacité énergétique. Il apparaît nécessaire de mieux cibler les politiques et les dépenses publiques afin de garantir une allocation durable et efficiente des ressources énergétiques : i) en favorisant l'utilisation des ENR dans les transports et le chauffage car les émissions de GES continuent à croître dans les secteurs des transports et du résidentiel tertiaire, les efforts devront être particulièrement soutenus dans les régions fortement urbanisées, ii) en valorisant le potentiel énergétique de chaque région et en concentrant les subventions sur des filières ayant un avantage « climatique » comparatif, il serait souhaitable que des objectifs régionaux spécifiques soient définis au niveau national pour les nouvelles filières d'ENR en fonction des caractéristiques géographiques et climatiques, iii) en assurant une meilleure coordination des politiques régionales, nationales et européennes, les réseaux électriques étant interconnectés au niveau européen, la mise en place d'une politique européenne de l'énergie permettrait de mieux gérer l'intermittence des nouvelles ENR et accroîtrait l'efficacité énergétique.

Il semble nécessaire que le pilotage de la transition énergétique soit réalisé au niveau national voire européen pour assurer une cohérence globale, les financements et dispositifs publics de soutien doivent s'inscrire dans la durée de manière à offrir un cadre clair et lisible favorisant les investissements. Enfin, bien qu'acteurs incontournables de la transition énergétique, les collectivités territoriales n'ont pas été dotées de moyens supplémentaires pour assurer leur mission, l'attribution

aux régions de moyens dédiés au développement des ENR pourrait accélérer le développement des ENR sur les territoires et permettre d'atteindre les objectifs fixés par la loi de transition énergétique pour la croissance verte.

Les résultats obtenus ont permis d'identifier les facteurs qui contribuent au développement des ENR à l'échelle des régions, ils seront utiles pour construire un modèle économétrique explicatif de l'évolution de la consommation des ENR (au niveau agrégé, régional et par filières). Néanmoins, pour mieux appréhender les efforts régionaux en termes de promotion des ENR, il nous semble opportun d'adopter une approche dynamique. Nous nous proposons dans une future recherche d'utiliser des méthodes d'analyse des données évolutives, permettant de prendre compte la dimension temporelle. Nous étudierons le développement des ENR sur la période 1990-2015. La dimension temporelle est cruciale en matière d'énergie en raison de l'existence de délais importants entre la décision d'investir dans des équipements, la mise en place de ces équipements et la production d'énergie.

Annexes

Tableau 3 – Variables thématiques

Identificateur	Description de la variable	Source
Les variables environnementales		
EGES.hab	Les émissions de gaz à effet de serre (tonnes/hab)	DREAL
CN	Centrales nucléaires (nombre)	Inventaire ANDRA
MT.ICA.hab	Montant des investissements spécifiques pour lutter contre la pollution de l'air et le climat (euros/hab)	Enquête ANTIPOLE
D.Invest	Les dépenses d'investissement régionales pour l'environnement (euros/hab)	DGCL
D.Fonct	Les dépenses de fonctionnement régionales pour l'environnement (euros/hab)	DGCL
Les variables démographiques		
Pop	La population (nombre)	INSEE
Dens	La densité de la population (hab/km ²)	INED
TU	Le taux d'urbanisation (%)	INSEE
%P.0-19	Part de la population âgée de 0 à 19 ans dans la population totale (%)	INSEE
%P.20-39	Part de la population âgée de 20 à 39 ans dans la population totale (%)	INSEE
%P.40-59	Part de la population âgée de 40 à 59 ans dans la population totale (%)	INSEE
%P.60+	Part de la population âgée 60 ans et plus dans la population totale (%)	INSEE
Part.dip	La part des diplômés dans la population (%)	INSEE
Les variables relatives aux performances économiques		
Pib.val.hab	Le PIB par habitant en valeur (euros/hab)	INSEE
TC.Pib.hab	Le taux de croissance du PIB par habitant (%)	INSEE
R.hab.val	Le revenu par habitant en valeur (euros/hab)	INSEE
Tx.C	Le taux de chômage (%)	INSEE
Inv.hab	L'investissement (euros/hab)	DGCL
BR.hab	Le budget de la région (euros/hab)	DGCL
DE.hab	Les dépenses pour l'éducation par habitant (euros/hab)	DGCL

Tableau 3 – (suite)

DS.hab	Les dépenses pour la santé par habitant (euros/hab)	DGCL
D.R&D.hab	Les dépenses en R&D par habitant (euros/hab)	Eurostat
PI.hab	La production industrielle par habitant (M€/hab)	INSEE
Les variables relatives à la spécialisation sectorielle		
Agr.VA	La part de l'agriculture dans la VA (%)	INSEE
Ser.VA	La part des services dans la VA (%)	INSEE
Ind.VA	La part de l'industrie dans la VA (%)	INSEE
VA.DABT.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans les secteurs de la fabrication de denrées alimentaires, de boissons et de produits à base de tabac dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
VA.CR.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans les secteurs de la cokéfaction et du raffinage dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
VA.EEIM.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans les secteurs de la fabrication d'équipements électriques et informatiques et de machines dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
VA.IEEED.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans les secteurs de la construction et de l'industrie extractive, l'énergie, l'eau, la gestion des déchets et de la dépollution dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
VA.MT.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans le secteur de la fabrication de matériels de transport dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
VA.API.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans le secteur de la fabrication d'autres produits industriels (fabrication de textile, Industrie de papier, Industrie chimique et pharmaceutique, fabrication de produits métalliques, en caoutchouc et en plastique) dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
VA.CON.S.VAI	La part de la valeur ajoutée brute dans le secteur de la construction dans la valeur ajoutée industrielle (%)	INSEE
ESA.ET	L'emploi dans le secteur agricole en % de l'emploi total	INSEE
ESI.ET	L'emploi dans le secteur industriel en % de l'emploi total	INSEE
ESS.ET	L'emploi dans le secteur des services en % de l'emploi total	INSEE
Les variables climatiques et géographiques		
TC	Type de climat (montagnard, continental, océanique, tempéré, méditerranéen ou maritime tropical (DOM))	Météo-France
Sup	Superficie (ha)	INSEE

Tableau 3 – (suite)

Temp	Température (°C)	Météo-France
Enso	Ensoleillement (heures)	Météo-France
Vent	Vitesse du Vent (Km/h)	Météo-France
Pluie	Pluie (mm)	Météo-France
F.M	Façade maritime (ha)	MEEM
C.Eau	Cours d'eau (Km ²)	BRGM
Sup.forêt	Superficie des forêts (ha)	IGN
P.Culm	Point culminant (m)	BRGM
Les variables politiques		
CP	La couleur politique du conseil régional élu (gauche, droite ou régionalistes)	
SPE	Le score des partis écologistes aux élections régionales de 2015 (% des voix)	Ministère de l'Intérieur
Obj. SRCAE	La part de la production d'ENR dans la consommation finale d'énergie visée en 2020 par le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) (%)	SOES

Tableau 4 – Synthèse de la partition en 5 classes des 22 régions françaises selon le développement des ENR en France en 2015

Description	Classe EnR1 : Prédominance de la biomasse et du thermique dans la production d'électricité renouvelable	Classe EnR2 : Domination du nucléaire et émergence de l'éolien	Classe EnR3 : Retard dans le déploiement des ENR et choix de l'éolien	Classe EnR4 : Forte consommation d'EnR dans le transport et le chauffage	Classe EnR5 : Forte production d'électricité renouvelable et prépondérance de l'hydraulique
Effectif (%)	1 (4,55%)	3 (13,64%)	9 (40,91%)	2 (9,09%)	7 (31,82%)
22 Régions métropolitaines	Île-de-France	Centre Champagne-Ardenne Haute-Normandie	Aquitaine Basse-Normandie Bretagne Lorraine Nord-Pas-de-Calais Pays de la Loire Poitou-Charentes Picardie	Corse Limousin	Alsace Auvergne Franche-Comté Languedoc-Roussillon Midi-Pyrénées Rhône-Alpes Prov. Alpes-Côte-d'Azur
Régions illustratives	DOM				PFR
Variables actives	Profil (+) Anti-Profil (-)	+ Part.therm.PELRN + Part.biom.PELRN - IE - PTEM.hab - PEN.hab - CCF.hab	+ Part.phot.PENR + Part.eol.PENR + IE - Part.ENR.CFTE - PELRN.hab - Part.hydr.PELRN	+ Cons.CH.RN.hab + Cons.Bioc.hab + Part.ENR.CFTE - CCF.hab	+ Part.hydr.PELRN + PELRN.hab + Part.ELRN.EPT - Part.biom.PELRN - Part.eol.PENR

Tableau 4 – (suite)						
Variables des thématiques illustratives						
Environnement	- MT.ICA.hab	+ MT.ICA.hab + CN + EGES.hab + D.Invest				
Démographie	+ Pop + Dens + TU + Part.dip			+ %P.60+ + %P.40-59 - %P.0-19		
Performances Économiques	+ Pib.val.hab + R.hab.val	+ Pl.hab - TC.Pib.hab	- D.R&D.hab	+ BR.hab + Inv.hab + DE.hab	+ D.R&D.hab - DE.hab	
Spécialisation sectorielle	+ Ser.VA + ESS.ET - Agr.VA - Ind.VA	+ VA.CR.VAI + Ind.VA - Ser.VA	+ ESA.ET + VA.DABT.VAI	+ VA.CON.S.VAI + VA.IEEED.VAI - VA.API.VAI	- Agr.VA - ESA.ET	
Climat & géographie			+ TC-Continental - P.Culm - Enso	+ Vent + Enso + Temp - C.Eau	+ P.Culm + Sup.forêt + Enso + F.M	
Politique	+ SPE		- Obj. SRCAE	+ Obj. SRCAE - SPE		

Références bibliographiques

- ACKET C, VAILLANT J (2011) *Les énergies renouvelables : état des lieux et perspectives*. Editions Technip, Paris.
- AKLIN M, URPELAINEN J (2013) Political competition, path dependence, and the strategy of sustainable energy transitions. *American Journal of Political Science* 57(3): 643–658.
- APERGIS N, PAYNE J-E (2011) On the causal dynamics between renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in developed and developing countries. *Energy Systems* 2(3-4): 299-312.
- APERGIS N, DANULETIU D-C (2014) Renewable energy and economic growth: evidence from the sign of Panel long-run causality. *International Journal of Energy Economics and Policy* 4(4): 578-587.
- BEUGELSDIJK S, KLASTING M-J, MILIONIS P (2018) Regional economic development in Europe: the role of total factor productivity. *Regional Studies* 52(4): 461-476.
- BIRD L, BOLINGER M, GAGLIANO T, WISER R, BROWN M, PARSONS B (2005) Policies and market factor driving wind power development in the United States. *Energy Policy* 33:1397–1407.
- CADORET I, PADOVANO F (2016) The political drivers of renewable energies policies. *Energy Economics* 56: 261-269.
- COUR DES COMPTES (2018) *Le soutien aux énergies renouvelables*, Communication à la commission des finances du Sénat.
- DE CHARENTENAY J, LESEUR A, BORDIER C (2012) Le Schéma régional climat-air-énergie: un outil d'orientation pour la transition énergétique et climatique des régions française. *Étude Climat CDC* 36 :1-32.
- FIGORE K (2006) Irréversibilité Mixte, valeur d'option et modularité : une application à l'investissement électronucléaire. *Économies et Sociétés série Économie de l'Énergie* 10-11 : 1595-1618.
- HANSEN J-P, PERCEBOIS J (2017) *Transition(s) électrique(s), ce que l'Europe et les marchés n'ont pas su vous dire*. Odile Jacob, Paris.
- HOFFERT M-I, CALDEIRA K, BENFORD G, CRISWELL D-R, GREEN C, HERZOG H (2002) Advances technology paths to global climate stability: energy for a greenhouse planet. *Science* 298(5595): 981-987.
- JEULIN M, DELBOSC A (2011) Le rôle des collectivités territoriales dans le soutien public aux énergies renouvelables - Exemples en Europe et en France. *Étude Climat CDC* 30 : 1-32.
- LEBART L, MORINEAU A, PIRON M (2000) *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. 3^{ème} édition, Dunod, Paris.
- LOORBACH D (2010) Transition management for sustainable development: a prescriptive, complexity-based governance framework. *Governance* 23(1): 161–183.
- MARQUES AC, FUINHAS J-A, MANO J (2010) Motivations driving renewable energy in European countries. *Energy Policy* 38(11): 6877-6885.
- MARQUES A, FUINHAS J (2011) Drivers promoting renewable energy: A dynamic panel approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(3): 1601-1608.
- MENZ B, VACHON S (2006) The effectiveness of different policy regimes for promoting wind power: Experiences from the states. *Energy Policy* 34(14): 1786–1796.
- MÉRENNE-SCHOUMAKER M-B (2011) *Géographie de l'énergie : acteurs, lieux et enjeux*. Collection Sup Géographie, Belin, Paris.
- OCDE (2015) *Rapport accompagnant l'inventaire OCDE des mesures de soutien pour les combustibles fossiles* [en ligne] http://www.agefi.fr/sites/agefi.fr/files/migrate/etudereference/VBNGKIMDY_OCDE%2520fossiles%252021%2520sept%25202015.pdf
- PACESILA M, BURCEA S-G, COLESCA S-E (2016) Analysis of renewable energies in European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56: 156–170.
- ROHATGI U, JO J-H, LEE J-C, BARI R-A (2002) Impact of the Nuclear Option on the Environment and the Economy. *Nuclear Technology* 137(3): 252-264.
- SADORSKY P (2009a) Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics* 31(3): 456-462.

- SADORSKY P (2009b) Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy* 37(10): 4021-4028.
- SAPORTA G (2006) *Probabilités, analyse des données et statistique*. 2^e édition, Editions Technip, Paris.
- SÉNAT (2013) *Rapport d'information fait au nom de la délégation aux collectivités territoriales et à la décentralisation sur les collectivités territoriales : mobiliser les sources d'énergies locales*, Sénat, session ordinaire de 2012-2013, n° 623.
- SHAFIEI S, SALIM R-A (2014) Urbanization and renewable and non-renewable energy consumption in OECD countries: An empirical analysis. *Economic Modelling* 38: 581-591.
- SHRIMALI G, KNIEFEL J (2011) Are government policies effective in promoting deployment of renewable electricity resource? *Energy Policy* 39(9): 4726-4741.
- STERLACCHINI A (2006) *Innovation, knowledge and regional economic performances: regularities and differences in the EU*. Working Papers 260 Università Politecnica delle Marche (I), Dipartimento di Scienze Economiche e Sociali.
- TORVANGER A, MEADOWCROFT J (2011) The political economy of technology support: Making decisions about CCS and low carbon energy technologies. *Global Environmental Change* 21(2): 303-312.
- TOTH F-L, ROGNER H (2006) Oil and nuclear power: Past, present and future. *Energy Economics* 28: 1-25.
- UNRUH G (2000) Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28(12): 817-830.
- UNRUH G (2002) Escaping carbon lock-in. *Energy Policy* 30(4): 317-325.
- VAN RUIJVEN B, VAN VUJEN D-P (2009) Oil and natural gas prices and greenhouse emissions mitigation. *Energy Policy* 37: 4797-4808.
- YANG J, ZHANG W, ZHANG Z (2016) Impacts of urbanization on renewable energy consumption in China. *Journal of Cleaner Production* 114 : 443-451.
- ZUINDEAU B (2005) Analyse économique des disparités écologiques spatiales : une étude à partir des départements français. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine* 2005-3 : 331-354.

Notes

- 1 - SADORSKY (2009a, 2009b), MARQUES *et al.* (2010, 2011), CADORET et PADOVANO (2016), PACESILA *et al.* (2016), APERGIS et PAYNE (2011), APERGIS et DANULETIU (2014).
- 2 - Le Service de l'Observation et des statistiques (SOES) publie uniquement des statistiques énergétiques agrégées pour les cinq départements d'outre-mer (Guadeloupe, Martinique, Guyane, La Réunion et Mayotte). La région DOM étant une région fictive, elle est considérée comme un « individu-région supplémentaire », c'est-à-dire qu'elle est projetée *a posteriori* à partir des coordonnées des variables actives qui la caractérisent mais qu'elle ne contribue pas à la détermination des axes factoriels.
- 3 - Les ENR sont habituellement divisées en deux catégories, les ENR électriques produisant de l'électricité principalement à partir des énergies solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et des bioénergies, et les ENR thermiques permettant la récupération (chaleur industrielle fatale) et la production de chaleur à partir des sols, de l'eau et de l'air (géothermie, pompes à chaleur), de la biomasse (bois énergie, méthanisation) et du soleil (solaire thermique).
- 4 - Critère qui consiste en un gain d'inertie intra-classe à chaque agrégation ou regroupement de deux classes en une seule ou la perte de l'inertie interclasse due à cette agrégation.
- 5 - La centrale géothermique de Bouillante est la seule centrale géothermique haute température en France. Elle produit près de 5 % de l'électricité de la Guadeloupe, ce qui permet d'alimenter près de 15 000 logements.
- 6 - L'hydraulique représentait 61,1 % de la production française d'électricité renouvelable en 2015.