



Centre de Recherche en Économie et Management
Center for Research in Economics and Management



University of Rennes 1

University of Caen Normandie

Working Paper

Contrasted performances of renewable energy development in French regions

Rafik Abdesselam

Université de Lyon, Lumière Lyon 2, COACTIS, EA 4161, 69365 Lyon Cedex 07, France

Patricia Renou-Maissant

*Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, CREM, F-14000 Caen, France
et EconomiX, UMR CNRS 7235, Université de Paris Nanterre, 92001 Nanterre, France*

Ferdaous Roussafi

Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, CREM, F-14000 Caen, France

December 2018 - WP 2018-15

**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, 69365 Lyon Cedex 07, France

Rafik.Abdesselam@univ-lyon2.fr

Patricia RENOU-MAISSANT

*Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, CREM, F-14000 Caen, France
et EconomiX, UMR CNRS 7235, Université de Paris Nanterre, 92001 Nanterre, France*

Patricia.maissant@unicaen.fr

Ferdaous ROUSSAFI

Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, CREM, F-14000 Caen, France

ferdaous.roussafi@unicaen.fr

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. Les différents modèles statistiques réalisés soulignent l'importance des facteurs économiques (performance économique et spécialisation sectorielle), des spécificités démographiques et des caractéristiques géographiques pour expliquer les disparités régionales en matière de développement des EnR en France en 2015. En revanche, les facteurs environnementaux et politiques considérés ne permettent pas de discriminer entre les cinq types de développement des EnR.

Abstract

The energy transition towards low-carbon energies is today a dominant paradigm of public policies related to energy. 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 have been 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. The various statistical models realized underlines the importance of economic factors (economic performance and sector specialization), demographic specificities and geographical characteristics to explain contrasted performances of renewable energy development in French regions. By contrast, environmental and political factors do not discriminate between the five types of RE development.

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 EnR alternatives durables comme l'énergie solaire et l'énergie 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 (SENAT, 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'Energie (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, Etablissements 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 » (SCHOUMAKER, 2011). En effet, la production et la consommation d'énergie varient fortement d'une région à l'autre et dépendent directement des ressources, du climat, de l'activité économique et de la démographie. 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 Etats américains (BIRD et al., 2005) et (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. Dans un premier temps, 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. 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, climatiques et politiques. Nous nous interrogeons plus précisément sur les déterminants de la localisation des EnR au niveau des régions. Enfin, deux types d'analyse ont été appliquées afin d'explorer les liens entre la partition des régions d'EnR réalisée et les variables thématiques considérées. La première est bivariée - l'analyse de la variance (ANOVA) -, elle permet d'évaluer l'effet de la variable explicative qualitative type de développement régional des EnR, synthétisé par la partition, sur chaque variable thématique explicative continue. La seconde est multidimensionnelle - l'analyse discriminante (AD) -, elle permet d'évaluer l'effet d'un ensemble de variables thématiques explicatives et continues sur le développement régional des EnR. Six thèmes ont été considérés : environnement, démographie, développement économique, spécialisation sectorielle, climat et géographie, politique.

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

¹ SADORSKY (2009a), (2009B), MARQUES et al. (2010), 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.

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 dites actives, caractéristiques du développement des EnR 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).

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 ⁽¹⁾ (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 ⁽²⁾ 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

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).

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.
Part.biom.PELRN	La part de la production ⁽³⁾ 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 ⁽⁴⁾ 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/1000 €)	Le rapport de la consommation finale d'énergie au produit intérieur brut exprimé en volume

Notes : ⁽¹⁾ 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.

⁽²⁾ 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.

⁽³⁾ 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

⁽⁴⁾ La consommation de la chaleur renouvelable est la somme de trois consommations pour le chauffage : le bois énergie (filiale de la biomasse), l'énergie solaire thermique et la géothermie (variable dont on ne dispose pas).

Les statistiques élémentaires des 14 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.

Tableau 2 Statistiques sommaires

	Moyenne	Min	Max	Ecart-type (N)	Coefficient de Variation (%)
Part.ENR.CFTE (%)	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/1000 €)	8,73E-02	3,20E-02	1,37E-01	2,09E-02	23,94

Etant 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 A1) permettant de mieux comprendre les spécificités régionales en termes de bouquet énergétique et de développement des EnR. Ces variables sont susceptibles de fournir des informations supplémentaires pour consolider et enrichir l'interprétation interne ou la caractérisation des classes de régions par les variables actives. Elles n'influent en aucun cas sur la détermination des classes, mais peuvent éventuellement apporter

une interprétation externe à ces classes. 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. Dans un second temps, nous explorons les liens entre la partition des régions réalisée et ces variables.

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 VUUN, (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, 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), 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 DANUTELIU (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. Par ailleurs, divers travaux ont souligné les retombées économiques positives de la transition énergétique sur la croissance et l'emploi, on peut citer BLAZEJCZAK et al. (2014) et LEHR et ULRICH (2017) pour l'Allemagne et BULAVSKAYA et REYNES (2018) pour les Pays-Bas et l'ADEME (2016) pour la France. En matière d'emploi, des impacts très importants, à la fois négatifs et positifs, inégalement répartis selon les secteurs et les régions, sont inéluctables. S'il y a consensus sur ce point, l'ampleur de ces effets et les échelles de temps concernées s'avèrent très difficiles à évaluer. Leur taille dépend fortement des conditions et des politiques du marché du travail et de la capacité des pays à développer des filières industrielles dans le domaine des EnR (BLAZEJCZAK et al. (2014), COUR DES COMPTES (2018)).

Les variables démographiques (population, densité de population, urbanisation) sont prépondérantes pour évaluer les consommations énergétiques. SALIM et SHAFIEI (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 multidimensionnelles. Il s'agit dans un premier temps 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. Cette première étape est essentiellement une analyse descriptive multidimensionnelle. Dans un second temps, nous explorons les liens entre la partition des régions réalisée et les variables thématiques. L'objectif est de mieux appréhender les mécanismes du développement territorial des EnR et les différences observées. Nous recourons à des analyses bivariées⁴ ainsi qu'à des analyses multivariées en l'occurrence des analyses discriminantes (AD) (CELLEUX, 1990 et HUBERTY, 1994) afin de repérer les classes qui se différencient par rapport aux variables des différents thèmes retenus et d'identifier les variables qui ont un effet sur le développement régional des EnR.

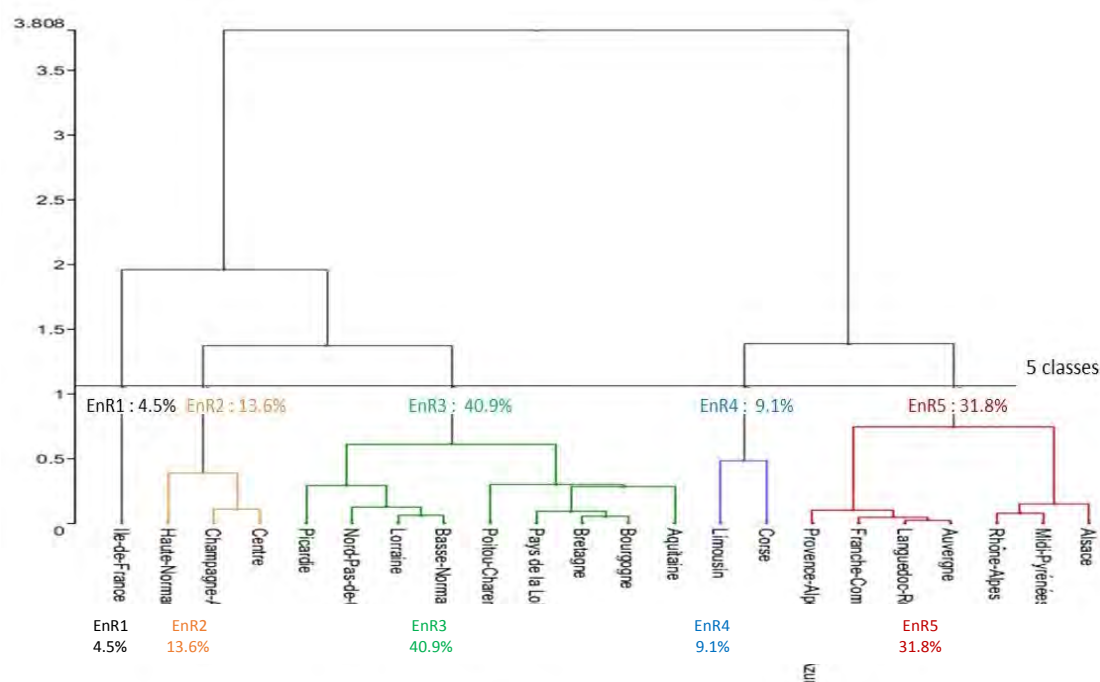
3.1 Typologie du développement des EnR des 22 régions de France métropolitaine

⁴ Des tests de comparaison de moyennes (ANOVA - Analyse Of Variance - à un facteur contrôlé) et des tests de comparaison de proportions (analyses des correspondances simples basées sur le test d'indépendance du khi-deux).

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 Ward⁵, 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 A2 présenté en annexe résume les principaux résultats de la caractérisation statistique en termes de développement des EnR, de la partition retenue en cinq classes, obtenue par coupure de l'arbre hiérarchique de la Figure 1.

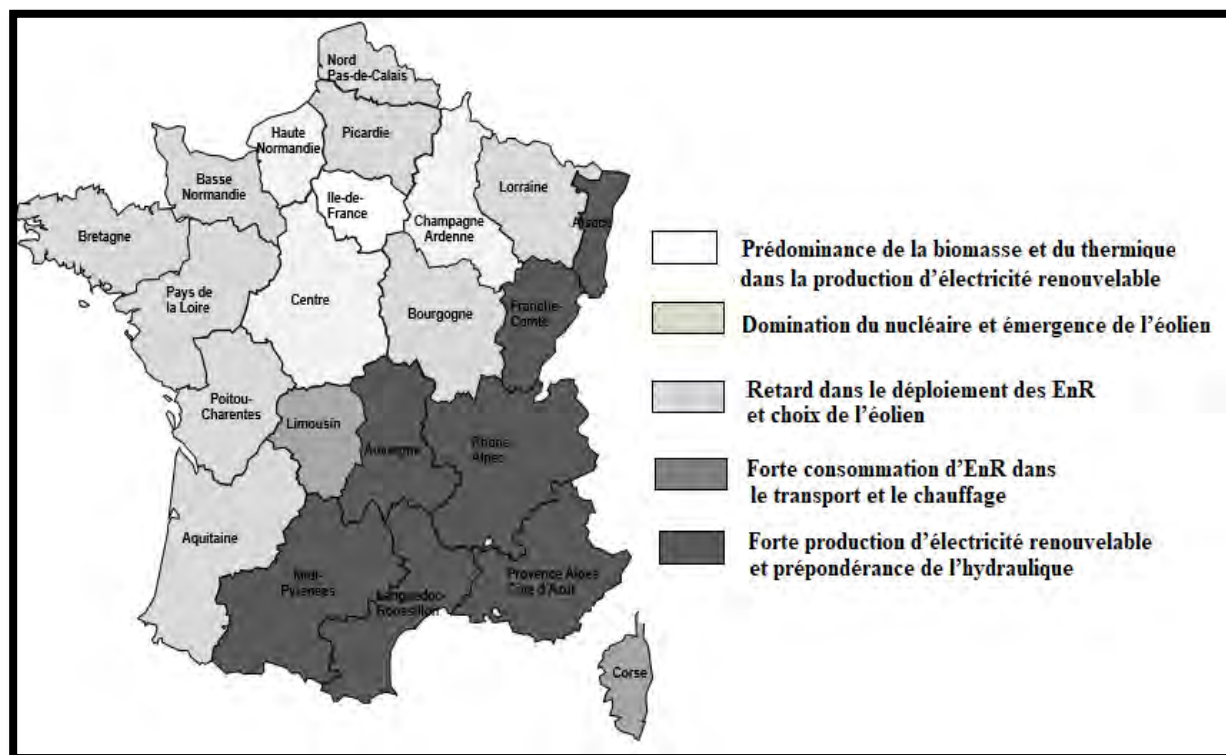
La classification établie met en évidence des spécificités régionales et des performances contrastées entre les régions en matière de développement des EnR. Le Tableau A2 présenté en annexe résume la description des classes de la typologie selon les variables des six thématiques illustratives considérées. 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.

Figure 1 Arbre hiérarchique des régions selon le développement des EnR en 2015



⁵ 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.

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



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'Ile de France. La production d'électricité de l'Ile 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/1000€) à celui de la moyenne nationale (0,087 tep/1000€). 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'Ile de France en matière de développement des ENR. En effet, les DOM se distinguent notamment par l'importance des

filières bioénergie et thermique⁶ 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'Ile 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 Ile 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'Ile 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 Energie (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 (SALIM et SHAFIEI, 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.

⁶ 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.

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 Ile 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.

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 tep/1000€) à celui de la moyenne nationale (0,087 tep/1000€).

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%.

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 Energie (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.

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 : 5 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.

A 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'hydraulique⁷.

3.2 Les déterminants du développement territorial des EnR

L'objectif d'une CAH est purement descriptif, nous avons utilisé les données pour caractériser des classes inconnues et homogènes d'observations selon un ensemble de variables relatives au développement des EnR. Dans cette section, nous explorons les liens entre la partition des régions réalisée et les variables additionnelles relatives aux six thématiques. Deux approches complémentaires ont été mises en œuvre : des analyses bivariées et des analyses discriminantes (AD).

3.2.1 Les effets du développement régional des EnR sur les variables thématiques

⁷ L'hydraulique représentait 61,1 % de la production française d'électricité renouvelable en 2015.

Le Tableau A3 présenté en annexe résume les modèles bivariés des effets du type de développement régional des EnR en France en 2015 sur chaque variable thématique continue (ANOVA) et sur chaque variable thématique nominale : le Type de Climat (TC) et la Couleur Politique (CP) du conseil régional élu (test d'indépendance du khi-2).

Par exemple, en ce qui concerne l'effet du facteur contrôlé « Développement régional des EnR en France 2015 » à cinq niveaux ou types de développement sur la variable population du thème démographie, le modèle ANOVA est significatif dans son ensemble. En effet, la p-valeur observée ($Pr > F = 0,01\%$) du test de Fisher est inférieure au seuil de signification fixé à 5%. En conséquence, on peut rejeter l'hypothèse nulle d'égalité des populations moyennes selon les types de développement des EnR. Il y a donc bien des disparités des populations selon le type de développement des EnR. La classe EnR1 a une population significativement plus importante que celles des quatre autres classes d'EnR. Ainsi, pour le thème démographie, il s'avère que le type de développement des EnR n'est pas une source d'hétérogénéité qui peut avoir une influence sur le taux d'urbanisation ou sur la part de la population âgée de 40 à 59.

De même pour le thème performances économiques, le développement régional des EnR a un effet significatif sur chacune des variables thématiques, sauf sur le taux de croissance du PIB par habitant, le taux de chômage et sur la production industrielle par habitant. A l'échelle des régions métropolitaines françaises, il apparaît que pour l'année 2015, le développement des EnR ne s'accompagne pas d'effets positifs sur la croissance et l'emploi contrairement aux résultats établis par BLAZEJCZAK et al. (2014), LEHR et ULRICH (2017), BULAVSKAYA et REYNES (2018) et l'ADEME (2016). Ce résultat doit être nuancé car l'analyse des effets du développement des EnR sur l'économie requiert la prise en compte d'une période de temps suffisamment longue pour que les ajustements puissent être réalisés.

Quant au thème spécialisation sectorielle, le développement régional des EnR a bien un effet significatif sur la part des services, sur la part de l'industrie, sur l'emploi dans le secteur agricole et sur l'emploi dans le secteur des services.

On peut conclure, avec un risque d'erreur de 5%, qu'il n'y a pas de disparité des variables environnementales et politiques selon le type de développement des EnR.

Au niveau climatique et géographique, on note des disparités selon les types de développement régional des EnR en ce qui concerne l'altitude (le point culminant des massifs), les heures d'ensoleillement et dans une moindre mesure la vitesse moyenne du vent (avec un risque d'erreur de 5,11%). Au vu des moyennes d'heures d'ensoleillement et de vitesse du vent

significativement élevées observées en 2015 dans les régions des classes d'EnR 4 et 5, on aurait pu s'attendre à plus de photovoltaïque et d'éolien dans ces régions.

3.2.2 Effets discriminants des six thèmes sur le développement régional des EnR

Statistiquement, l'AD est une méthode multivariée⁸ qui consiste à étudier l'effet d'un ensemble de variables explicatives quantitatives d'un thème homogène sur une variable qualitative à expliquer, en l'occurrence ici, la variable qualitative types de développement des EnR des 22 régions métropolitaines de France en 2015 caractérisée précédemment par la CAH. On peut observer que l'approche de l'AD est proche de celle de la régression. Dans chacun des cas, on essaye d'expliquer ou de prédire une variable dépendante par une combinaison linéaire de variables explicatives. En régression la variable expliquée est continue ou quantitative, en AD elle est qualitative. Six thèmes explicatifs sont considérés : l'environnement, la démographie, les performances économiques, la spécialisation sectorielle, le climat et la géographie ainsi que la politique (voir tableau A2 en annexe). En d'autres termes, pour chacune de ces thématiques, nous allons d'une part, déterminer quelles sont les caractéristiques qui expliquent et donc qui discriminent et séparent au mieux les classes régionales du développement des EnR et d'autre part, comprendre et interpréter la nature de ces différences. De plus, l'AD permet d'élaborer une règle de décision que l'on utilise ensuite pour classer la région anonyme DOM dans la classe la plus proche, selon ses caractéristiques thématiques, des cinq classes régionales du développement des EnR.

Le tableau 3 résume les principaux résultats des modèles d'analyse discriminante⁹ par thème. Le modèle retenu selon la spécialisation sectorielle est significatif dans son ensemble. En effet, la probabilité critique ou la p-valeur ($Pr > F = 0,83\%$) de l'approximation de la statistique de Wilks par la loi de Fisher est inférieure au seuil de significativité fixé à 5%. On peut donc conclure qu'il y a bien un effet significatif de la spécialisation sectorielle sur le type de développement régional des EnR en France 2015. Parmi les neuf variables explicatives introduites dans le modèle, seules les variables Ser.VA et VA.IEEED.VAI sont discriminantes. Ces deux variables discriminantes significatives différencient la région Ile de France de la

⁸ L'AD est une méthode décisionnelle de classement. Elle consiste d'une part, à déterminer parmi les variables explicatives celles qui sont discriminantes. L'AD est une ACP particulière, elle produit des facteurs discriminants qui sont des combinaisons linéaires des variables explicatives et établit des représentations graphiques sur des plans factoriels discriminants permettant de séparer le mieux possible les classes, puis d'expliquer leurs positionnements respectifs. Et d'autre part, elle permet de classer de nouvelles données explicatives anonymes dans ces classes connues à partir des fonctions linéaires discriminantes établies précédemment. On distingue par conséquent deux démarches successives, d'ordre descriptif puis décisionnel.

⁹ L'AD repose sur la normalité des populations. Les fonctions discriminantes sont linéaires si les matrices de variances et covariances de ces populations sont égales, sinon elles sont quadratiques. Toutes ces conditions d'application sont vérifiées sauf pour la population de la classe EnR1.

classe EnR1, caractérisée par une part des services dans la valeur ajoutée et une 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 élevées. La région DOM est affectée dans la classe EnR1.

Le Modèle complet d'AD constitué des dix variables de performance économique est très significatif dans son ensemble. Deux facteurs discriminants caractérisent ce modèle, le premier distingue la classe EnR2 par une production industrielle par habitant élevée et le second différencie la classe EnR1 de l'Ile de France, par un PIB par habitant élevé. Ce modèle significatif dont le taux d'erreur est de 9,09%, a affecté la région DOM dans la classe EnR4 constituée des régions de la Corse et du Limousin.

Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle des disparités régionales en termes de spécialisation sectorielle et de performance économique (STERLACCHINI (2006), BEUGELSDIJK et al. (2018)) induisent des mix énergétiques différenciés ainsi qu'un développement contrasté des EnR.

Quant à l'analyse de l'effet de la thématique environnementale sur le type de développement régional des EnR, aucun des modèles, complet et réduits appliqués, n'est significatif ($Pr > F > 5\%$). On peut donc conclure qu'aucune de ces cinq caractéristiques de l'environnement n'a d'effet significatif sur la partition du développement régional des EnR en France métropolitaine en 2015. Contrairement aux résultats établis par de nombreux auteurs à l'échelle des pays (SADORSKY (2009a), VAN RUIJVEN en VAN VUUNEN, (2009)), les préoccupations environnementales ne constituent pas un facteur déterminant du développement des EnR à l'échelle des régions françaises. Ce résultat résulte de l'absence de différences significatives entre les cinq types de développement d'EnR et ce pour les cinq variables environnementales mises en évidence par les ANOVA. En particulier, un niveau comparable d'émissions de GES entre les cinq classes n'est pas susceptible d'entraîner un développement contrasté des EnR. (MARQUES et al. (2010)).

L'AD appliquée sur les variables démographiques, est très significative dans son ensemble. Parmi les variables explicatives introduites dans le modèle, seules la densité, le taux d'urbanisation et la part de la population âgée de 0 à 19 ans ont un effet significatif discriminant sur le développement régional des EnR. Ce sont les caractéristiques fortes qui distinguent la région d'Ile de France (classe EnR1) des autres classes. Ces résultats corroborent ceux obtenus par SALIM et SHAFIEI (2014) et YANG et al. (2016), la densité de la population et le taux

d'urbanisation sont des facteurs clés du développement des EnR. Quant à la région DOM, le modèle décisionnel l'a affectée et considérée comme proche des régions de la classe EnR2.

Tableau 3 : Synthèse des résultats des Analyses Discriminantes par thème

Statistiques multivariées et Approximations F				Spécialisation sectorielle			
Statistique	Valeur	Valeur F	Pr > F				
Wilks' Lambda	0.0348	2,91	0,0011**				
Variable	Agr.VA	Ser.VA	VA.IEEED.VAI	VA.CR.VAI	ESAET	ESIET	Taux d'erreur de classement
R-Carré	0.3538	0.6003	0.4883	0.3248	0.3822	0.3693	18,18%
Valeur F	1,78	6.38	3.82	1,44	2.32	2,05	Affectation de la région DOM
Pr > F	0,1932	0,0025**	0,0230*	0,2794	0,1044	0,1423	EnR1

Statistiques multivariées et Approximations F				Performances économiques		
Statistique	Valeur	Valeur F	Pr > F			
Wilks' Lambda	0,0011	4,01	<0,0001**			
Variable	Pib.val.hab	TC.Pib.hab	R.hab.val	Tx.C	Inv.hab	Taux d'erreur de classement
R-Carré	0,6350	0,1770	0,5275	0,6105	0,2648	9,09%
Valeur F	3,48	0,43	2,23	3,13	0,72	
Pr > F	0,0628	0,7835	0,1551	0,0792	0,6016	
Variable	BR.hab	DE.hab	DS.hab	D.R&D.hab	PI.hab	Affectation de la région DOM
R-Carré	0,3225	0,5363	0,2697	0,5208	0,6617	EnR4
Valeur F	0,95	2,31	0,74	2,17	3,91	
Pr > F	0,4824	0,1454	0,5914	0,1625	0,0477*	

Statistiques multivariées et Approximations F				Environnement		
Statistique	Valeur	Valeur F	Pr > F			
Wilks' Lambda	0,2857	1,01	0,4691			
Variable	EGES.hab	CN	MT.ICA.hab	D.Invest	D.Fonct	Taux d'erreur de classement
R-Carré	0,2195	0,2660	0,2480	0,2489	0,1595	45,45%
Valeur F	0,91	1,18	1,07	1,08	0,62	Affectation de la région DOM
Pr > F	0,4846	0,3657	0,4095	0,4073	0,6584	

Statistiques multivariées et Approximations F				Démographie				
Statistique	Valeur	Valeur F	Pr > F					
Wilks' Lambda	0,0062	4,54	<0,0001**					
Variable	Pop	Dens	TU	%P.0-19	%P.20-39	%P.40-59	Part.dip	Taux d'erreur de classement
R-Carré	0,4320	0,8690	0,6836	0,6166	0,2795	0,1348	0,2234	27,27%
Valeur F	2,09	18,25	5,94	4,42	1,07	0,43	0,79	Affectation de la région DOM
Pr > F	0,1504	0,0001**	0,0085**	0,0225*	0,4182	0,7853	0,5548	EnR2

Statistiques multivariées et Approximations F				Climat et Géographie				
Statistique	Valeur	Valeur F	Pr > F					
Wilks' Lambda	0,0183	2,98	0,0007*					
Variable	Sup	Temp	Enso	Vent	F.M	C.Eau	P.Culm	Taux d'erreur de classement
R-Carré	0,4047	0,3033	0,4229	0,3615	0,4405	0,5250	0,5494	9,09%
Valeur F	1,87	1,52	2,20	2,12	2,56	4,42	5,18	Affectation de la région DOM
Pr > F	0,1860	0,2489	0,1307	0,1283	0,0887	0,0135*	0,0065**	EnR2

Statistiques multivariées et Approximations F				Politique
Statistique	Valeur	Valeur F	Pr > F	
Wilks' Lambda	0,5074	1,62	0,1594	
Variable	SPE	Obj.SRCAE		Taux d'erreur de classement
R-Carré	0,3052	0,2424		40,91%
Valeur F	1,76	1,28		Affectation de la région DOM
Pr > F	0,1869	0,3190		

Seuil de significativité : ** < 1% , *]1% ; 5%]

Le modèle d'AD appliqué sur les variables climatiques et géographiques est significatif dans son ensemble. Parmi les variables explicatives introduites dans le modèle, seules deux variables

géographiques ont un effet significatif sur les types de développement régional des EnR en France en 2015. Le premier facteur discriminant oppose les régions Corse et Limousin de la classe EnR4, caractérisées par des points culminants élevés sur leurs territoires, aux régions Centre, Champagne-Ardenne et Haute-Normandie de la classe EnR2 qui se différencient par la présence de nombreux cours d'eau. Le second facteur discriminant caractérise les régions montagneuses (points culminants élevés) des régions de la classe EnR5. Ces résultats sont intéressants, ils montrent que certaines aménités territoriales géographiques expliquent fortement le mix énergétique et 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 discriminants du développement des EnR, ce qui signifie que l'éolien et le photovoltaïque se développent de manière indifférencié sur tout le territoire français. Ces inégalités de ressources entre territoires n'influent pas sur le mix énergétique. Cette constatation soulève le problème de l'efficacité des politiques publiques en matière de transition énergétique. Par exemple, de nombreux conseils municipaux et propriétaires fonciers accueillent favorablement les projets éoliens et photovoltaïques en raison des retombées financières qu'ils génèrent sans se préoccuper de l'opportunité des investissements au regard de leurs efficacités énergétique et économique.

Aucun des modèles complet et réduits appliqués sur les variables politiques - le score des partis écologistes aux élections régionales de 2015 et la part de la production d'EnR dans la consommation finale d'énergie visée par le SRCAE pour 2020 - n'est significatif ($Pr > F = 15,94\% > 5\%$). On peut donc conclure qu'il n'y a aucun effet de ces variables politiques sur le type de développement régional des EnR en 2015. Contrairement aux résultats obtenus par CADORET et PADOVANO (2016) pour les pays européens, le poids des partis écologistes n'influe pas sur le développement régional des EnR en France en 2015.

Enfin, les ANOVA ont permis d'analyser les éventuelles relations d'association entre le type de développement régional des EnR en France en 2015 et chacune des variables thématiques. Les effets différentiels observés amènent à conclure à l'existence d'effets du développement régional d'EnR significatifs. Quant aux AD, elles ont permis de mettre en exergue les facteurs économiques (performance économique et spécialisation sectorielle), les spécificités démographiques et géographiques qui caractérisent et différencient les cinq types de développement des EnR en France en 2015. En revanche, les facteurs environnementaux et politiques considérés ne permettent pas de les discriminer.

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 Ile 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'Ile 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 liés 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'Ile 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 Ile 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 A1 : 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 ANTIPOL
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 39ans dans la population totale (%)	INSEE
%P.40-59	Part de la population âgée de 40 à 59ans 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
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
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 A2 : Synthèse de la partition en 5 classes des 22 régions françaises selon le développement des EnR en France en 2015

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

Tableau A3 : Effets du développement régional des EnR en France en 2015 sur les caractéristiques des thématiques

		CLASSE EnR1	CLASSE EnR2	CLASSE EnR3	CLASSE EnR4	CLASSE EnR5	Ensemble		
EFFECTIF		1	3	9	2	7	22 régions		
THEMATIQUE	VARIABLES	Prédominance de la biomasse et du thermique dans la production d'électricité renouvelable	Domination du nucléaire et émergence de l'éolien	Retard dans le déploiement des EnR et choix de l'éolien	Forte consommation d'EnR Dans le transport et le chauffage	Forte production d'électricité renouvelable et prépondérance de l'hydraulique	Valeur F	Pr > F	
ENVIRONNEMENT	CN	0,000	7,333	2,111	0,000	2,571	1,63	0,2124	
	MT.ICA.hab	1,072	14,573	5,036	0,061	4,583	1,88	0,1600	
	D.Invest	12,812	33,681	23,349	22,633	27,734	1,61	0,2177	
	D.Fonct	25,631	29,126	24,564	22,183	24,137	0,45	0,7715	
	EGES.hab	0,004	0,011	0,009	0,009	0,007	1,88	0,1597	
DEMOGRAPHIE	Pop	12073,914 A ⁽¹⁾	1925,713 B	2627,671 B	530,178 B	3102,399 B	13,10	0,0001**	
	Dens	1001,000 A	89,000 B	116,000 B	40,000 B	117,000 B	40,06	0,0001**	
	TU	0,944 A	0,634 C	0,626 C	0,580 C	0,694 B	2,61	0,0721	
	Part.dip	0,463 A	0,268 B	0,289 B	0,306 B	0,330 B	5,90	0,0036**	
	%P.0-19	0,260 A	0,245 A	0,240 B	0,207 C	0,234 B	3,65	0,0254*	
	%P.20-39	0,284 A	0,229 B	0,226 B	0,218 B	0,232 B	4,05	0,0174*	
	%P.40-59	0,265	0,268	0,269	0,275	0,270	0,93	0,4706	
	%P.60+	0,192 C	0,258 B	0,265 A	0,299 A	0,264 A	3,15	0,0416*	
PERFORMANCES ECONOMIQUES	Pib.val.hab	54646,41 A	27639,83 B	26965,08 B	25596,28 B	28523,63 B	38,16	0,0001*	
	TC.Pib.hab	0,013	0,005	0,018	0,007	0,018	1,95	0,1488	
	R.hab.val	24836,00 A	20101,67 B	19606,22 B	19933,50 B	19963,86 B	7,48	00011*	
	Tx.C	0,096	0,114	0,100	0,087	0,098	0,83	0,5250	
	Inv.hab	178,773 B	152,689 B	166,056 B	455,727 A	152,196 B	5,04	0,0073**	
	BR.hab	410,501 B	442,329 B	439,512 B	1322,303 A	419,448 B	6,26	0,0028**	
	DE.hab	149,709 D	210,480 B	188,216 C	259,817 A	174,202 C	11,20	0,0001**	
	DS.hab	4,550	1,412	1,456	1,991	1,544	0,80	0,5409	
	D.R&D.hab	947,843 A	403,884 B	436,813 B	245,413 C	825,367 B	5,49	0,0050**	
	PI.hab	0,006	0,007	0,005	0,006	0,006	1,08	0,3962	
SPECIALISATION SECTORIELLE	Agr.VA	0,001	0,045	0,035	0,035	0,021	2,17	0,1167	
	Ser.VA	0,869 A	0,686 B	0,735 B	0,764 B	0,751 B	6,38	0,0025*	
	Ind.VA	0,130 C	0,268 A	0,230 A	0,201 B	0,228 A	3,87	0,0206*	
	VA.IEEED.VAI	0,170	0,116	0,108	0,156	0,115	1,92	0,1526	
	VA.DABT.VAI	0,056	0,144	0,158	0,118	0,110	1,49	0,2484	
	VA.CR.VAI	0,003	0,018	0,002	0,001	0,003	1,27	0,3213	
	VA.EEIM.VAI	0,084	0,073	0,066	0,063	0,080	0,24	0,9094	
	VA.MT.VAI	0,086	0,039	0,055	0,024	0,069	0,64	0,6427	
	VA.API.VAI	0,277	0,372	0,321	0,218	0,321	1,46	0,2588	
	VA.CON.S.VAI	0,322	0,237	0,291	0,420	0,303	1,96	0,1469	
	ESA.ET	0,001 C	0,014 B	0,016 A	0,014 B	0,008 B	3,35	0,0340*	
	ESI.ET	0,120	0,215	0,195	0,159	0,187	2,16	0,1173	
	ESS.ET	0,879 A	0,771 C	0,790 C	0,826 B	0,805 B	3,08	0,0445*	
	CLIMAT & GEOGRAPHIE	Sup	1206,415	2584,812	2584,604	1289,314	2864,263	1,11	0,3838
Temp		12,710	11,750	12,490	14,640	13,266	1,73	0,1900	
Enso		1861,000 B	1882,000 B	1901,556 B	2507,000 A	2295,571 A	4,71	0,0096**	
Vent		93,200 C	100,800 B	105,411 B	138,050 A	113,300 B	2,94	0,0511*	
Pluie		503,000	593,333	698,556	687,500	719,429	1,65	0,2080	
F.M		0,000	4,000	2,889	20,000	85,571	1,02	0,4243	
C.Eau		24138,890	47078,297	39309,794	14180,485	35599,450	1,05	0,4102	
Sup.forêt		2620,000	6316,667	6147,778	5470,000	11170,000	1,44	0,2635	
P.C ulm		231,000 C	422,000 B	820,667 B	1841,50 A	2847,57 A	5,18	0,0065**	
TC(%)		Continental	100,00	33,33	88,89	0,00	28,57	Khi-2 20,981	p-value 0,1790
		Méditerranéen	0,00	0,00	0,00	50,00	14,29		
		Montagnard	0,00	33,33	0,00	0,00	28,57		
		Océanique	0,00	33,33	11,11	0,00	0,00		
	Tempéré	0,00	0,00	0,00	50,00	28,57			
POLITIQUE	SPE	0,083	0,040	0,037	0,009	0,052	2,10	0,1260	
	Obj. SRCAE	0,230	0,297	0,234	0,390	0,288	1,57	0,2275	
CP (%)	Droite	100,00	66,67	55,56	0,00	57,14	Khi-2 12,089	p-value 0,1470	
	Gauche	0,00	33,33	44,44	50,00	42,86			
	Régionaliste	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00			

Seuil de significativité : ** < 1%, *]1% ; 5%]. Les moyennes avec des lettres différentes sont significativement différentes.

(1) Les lettres permettent de différencier les classes lorsque les moyennes sont significativement différentes. A correspond à la classe ayant la moyenne la plus, l'ordre alphabétique est utilisé pour désigner les moyennes par ordre décroissant.

Références bibliographiques

ACKET C, VAILLANT J (2011) *Les énergies renouvelables : état des lieux et perspectives*, Editions Technip.

ADEME (2016) *Mix électrique 100 % renouvelable à 2050*, Evaluation macro-économique.

AKLIN M, URPELAINEN J (2013) Political competition, path dependence, and the strategy of sustainable energy transitions. *American Journal of Political Science* 57(3), p. 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, p. 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, p. 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), p. 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* 3, p. 1397–1407.

BLAZEJCZAK J, BRAUN F G, EDLER D, SCHILL W P (2014) Economic effects of renewable energy expansion: A model-based analysis for Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, p. 1070-1080.

BULAVSKAYA T, REYNÈS F (2018) Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands. *Renewable Energy* 119, p. 528-538

CADORET I, PADOVANO F (2016) The political drivers of renewable energies policies. *Energy Economics* 56, p. 261-269

CELLEUX G (1990), *Analyse discriminante sur variables continues*, Collection didactique, INRIA.

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. *Etude Climat CDC* 36, p. 1-32.

FIGLIORE K (2006) Irréversibilité Mixte, valeur d'option et modularité : une application à l'investissement électronucléaire. *Economies et Sociétés* série *Economie de l'Energie* ISMEA 10-11, p. 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.

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), p. 981-987.

HUBERTY C (1994) *Applied discriminant analysis*, Wiley.

JEULIN M, DELBOSC A (2011) Le rôle des collectivités territoriales dans le soutien public aux énergies renouvelables - Exemples en Europe et en France. *Etude Climat CDC* 30, p.1-32.

- LEBART L, MORINEAU A, PIRON M (2000) *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, 3ème édition Dunod, p. 439.
- LEHR U, ULRICH P (2017) *Economic Impacts of Renewable Energy Increase in Germany in Towards 100% Renewable Energy*, UYAR T.S, P. 263-272.
- LOORBACH D (2010) Transition management for sustainable development: a prescriptive, complexity-based governance framework. *Governance* 23, p. 161–183.
- MARQUES AC, FUINHAS J-A, MANSO J (2010) Motivations driving renewable energy in European countries. *Energy Policy* 38, p.6877-6885.
- MARQUES A, FUINHAS J (2011) Drivers promoting renewable energy: A dynamic panel approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, p.1601-1608.
- MENZ B VACHON S (2006) The effectiveness of different policy regimes for promoting wind power: Experiences from the states. *Energy Policy* 34, p.1786–1796.
- MERENNE-SCHOUMAKER B (2011) *Géographie de l'énergie : acteurs, lieux et enjeux*, collection Belin Sup Géographie, Paris, p.272.
- OCDE (2015) *Rapport accompagnant l'inventaire OCDE des mesures de soutien pour les combustibles fossiles*, 21 septembre.
- PACESILA M, BURCEA S.G, COLESCA S.E (2016) Analysis of renewable energies in European Union. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 56, p.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), p.252-264.
- SADORSKY P (2009a) Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics* 31, p. 456-462.
- SADORSKY P (2009b) Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy* 37, p. 4021-4028.
- SAPORTA G (2006) *Probabilités, analyse des données et statistique*, 2ème édition Technip.
- SENAT (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,p. 581-591.
- SHRIMALI G, KNIEFEL J (2011) Are government policies effective in promoting deployment of renewable electricity resource? *Energy Policy* 39, p. 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, p. 303–312.
- TOTH F-L, ROGNER H (2006) Oil and nuclear power: Past, present and future. *Energy Economics* 28, p. 1–25.
- UNRUH G (2000) Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28, p. 817-830.

UNRUH G (2002) Escaping carbon lock-in. *Energy Policy* 30, p. 317-325.

VAN RUIJVEN B, VAN VUEN D-P (2009) *Oil and natural gas prices and greenhouse emissions mitigation. Energy Policy* 37, p. 4797-4808.

YANG J, ZHANG W, ZHANG Z (2016) Impacts of urbanization on renewable energy consumption in China. *Journal of Cleaner Production* 114, p. 443-451.

ZUINDEAU B, (2005) Analyse économique des disparités écologiques spatiales : une étude à partir des départements français. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine* 3, p. 331-354.