



**LES ÉNERGIES
RENOUVELABLES
EN NOUVELLE-
AQUITAINE :
ENJEUX ET
PERSPECTIVES**



Édito



En confiant à des scientifiques et des professionnels de renom la mission essentielle d'établir un diagnostic étayé et partagé en matière de transition énergétique, agricole et écologique, la Nouvelle-Aquitaine compte sur elles et eux pour poser les bases scientifiques indiscutables de l'ensemble de nos politiques publiques. En effet, parce que notre feuille de route régionale Néo Terra n'a ni plus ni moins comme ambition de devenir le nouveau contrat écologique et social de notre société néo-aquitaine, les conclusions du Comité scientifique AcclimaTerra revêtent une valeur inestimable. Une boussole par temps de tempête, qui nous permet de tracer notre chemin pour y parvenir. Assurément, ce n'est pas, là, une mince affaire.

Or, parmi nos outils de navigation, les Cahiers thématiques du Comité scientifique sont des pièces essentielles. En effet, depuis deux ans, ceux consacrés aux plans d'eau et au numérique nous ont permis des avancées décisives sur ces thématiques dont on mesure, avec le recul, la pertinence dans les transitions engagées.

C'est donc peu dire que le Cahier thématique AcclimaTerra portant sur les énergies renouvelables était l'objet d'une attente fiévreuse et même empreinte de sérendipité. En effet, tandis que nous subissons de plein fouet les effets dévastateurs du dérèglement climatique, les soubresauts géopolitiques actuels provoquent une hausse rapide des prix de l'énergie, avec des incertitudes réelles quant aux risques de pénuries. Des mots comme « sobriété », « résilience » ou « souveraineté énergétique » sont désormais sur toutes les bouches, y compris au plus haut sommet de l'État. Plus que jamais, notre consommation, comme notre mix énergétique mettent en lumière des choix politiques dont, avant cette crise multiforme, on ne mesurait pas toujours pleinement les conséquences directes et indirectes.

Ainsi, ce cahier thématique, en explorant toutes les voies possibles, en mesurant les avantages et inconvénients de chaque technologie, en prenant en compte leur possible environnement humain et naturel – y compris les interactions entre milieu naturel et technologies de pointe –, nous donne toutes les clefs pour agir, en accompagnant notamment les actrices et acteurs du secteur pour accélérer les transitions engagées. Pour cela, je tiens à remercier l'ensemble des rédactrices et rédacteurs pour la qualité du travail fourni ; puissions-nous, élues et élus, leur rendre hommage en faisant les choix politiques qui s'imposent.

Alain ROUSSET

*Président du Conseil régional
de Nouvelle-Aquitaine*

Édito



Le changement climatique est en évolution rapide, comme l'ont montré divers phénomènes qui ont frappé notre région l'été passé mais aussi d'autres points du globe, et il devient progressivement un élément central d'un futur qui reste difficile à anticiper précisément.

C'est la vocation d'AcclimaTerra de continuer à alimenter le débat public, au sens le plus large, en Nouvelle-Aquitaine notamment, sur les enjeux et perspectives liés à cette modification profonde de notre cadre de vie, en s'appuyant sur la progression du savoir dans tous les champs disciplinaires, fondamentaux ou appliqués.

Cette réflexion comporte deux grands volets, l'un sur l'atténuation, soit toutes les actions qui permettent de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique, l'autre sur l'adaptation multiforme de notre société et notre économie au climat qui change. Le bilan des connaissances sur les énergies renouvelables dans une perspective de transition énergétique et écologique en Nouvelle-Aquitaine, présenté ici, relève de l'atténuation ; mais il faut garder à l'esprit que ces deux dimensions sont liées de façon croissante. Ainsi, s'agissant de l'hydroélectricité, qui n'est pas abordée spécifiquement dans ce cahier, la disponibilité de la ressource en eau, donc le taux de remplissage des barrages, est un facteur majeur de la pertinence de ce mode de production. De même, dans la mobilité électrique appelée à se développer, une température élevée au-delà de 35 °C fragilise les équipements (bornes de recharge par exemple).

Le monde du changement climatique est aussi un monde de complexité croissante, et c'est le rôle des scientifiques que de tenter de décoder cette complexité pour les décideurs politiques et les citoyens. En dépit de ses développements parfois techniques, ce cahier sur les énergies renouvelables y contribue en mettant en lumière le potentiel des différentes filières de production d'énergie décarbonée et renouvelable dans notre région. Ainsi, parmi les filières d'énergie renouvelables, l'éolien terrestre, le photovoltaïque, la géothermie, les bioénergies, l'hydrogène sont envisagées et mises en perspectives au regard des effets du changement climatique dans ce cahier.

Sans prétendre épuiser le sujet, il tente aussi d'identifier les obstacles qui peuvent entraver leur développement et les points de vigilance pour les décideurs.

Contribution au débat le plus large sur la part que la Nouvelle-Aquitaine peut/doit jouer dans la transition énergétique et écologique, ce cahier sera aussi utile aux collectivités locales et à de nombreux acteurs dans les territoires qui entendent agir résolument dans ce sens, en intégrant la diversité de situations et de contextes sans cesse alimentés par l'évolution du changement climatique.

Hervé LE TREUT
Président d'AcclimaTerra

Introduction

Une voie de développement pour un futur énergétique territorialisé

Après l'été caniculaire de 2022 et ses incendies spectaculaires en Gironde, nul ne peut douter de l'urgence climatique, un défi sans précédent dans l'histoire de l'humanité. Une étude récente comportant de nouvelles projections sur le climat futur en France suggère que le réchauffement pourrait être 50 % plus intense que ce qu'on imaginait jusqu'alors, avec un niveau moyen de 3,8 °C en 2100 par rapport à la température du début du XX^e siècle, dans un scénario intermédiaire d'émissions [1]. La décarbonation de notre économie, et en particulier de notre production et consommation d'énergie, est d'autant plus impérative.

Les engagements pris par la France dans le cadre de l'Accord de Paris mais aussi à l'échelle européenne, qui trouvent leur traduction dans l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050 et de réduction de nos émissions de CO₂ de 55 % d'ici 2030 par rapport au niveau atteint en 2012, nous conduisent à accélérer fortement le développement des énergies renouvelables (EnR). Le conflit en Ukraine, a mis en lumière notre forte dépendance collective à l'égard des énergies fossiles.

Or, la France est le seul pays de l'Union Européenne à ne pas avoir atteint en 2020 ses objectifs en termes d'EnR, avec une part dans la consommation finale du pays de 19,1 % au lieu de 23 %. De façon révélatrice, les EnR représentaient en 2020 seulement 12 % de la dépense publique totale dans le domaine de la Recherche et du Développement (R&D) sur l'énergie. Un projet de loi visant à accélérer le déploiement des EnR, et prévoyant notamment une simplification des procédures administratives pour raccourcir les délais d'instruction des projets, devrait être adopté prochainement par le Parlement.

En pleine flambée des prix de l'électricité, avec des répercussions économiques, sociales et politiques futures encore mal définies à ce jour, le Parlement européen a d'ailleurs récemment revu à la hausse les différents objectifs en matière de croissance des EnR dans le mix-énergétique européen (un objectif contraignant de 40 % de renouvelables d'ici à 2030, contre un objectif fixé actuellement à 32 %).

Dans son rapport *Futurs énergétiques 2050* publié en 2021, le gestionnaire du réseau électrique national RTE prévoyait une augmentation de la consommation électrique d'ici 2050 dans tous les scénarios énergétiques proposés, croissance due essentiellement au fait de l'électrification des usages dans de nombreux secteurs comme les transports (100 TWh en 2050 contre 15 TWh aujourd'hui) ou l'industrie (180 TWh contre 115).

Quel que soit le mix énergétique envisagé pour 2050 qui soit compatible avec l'objectif de neutralité carbone, le rapport de RTE planifiait un déploiement très important des EnR sur le territoire, y compris avec une relance de l'électronucléaire.

L'accélération de la transition énergétique et donc du développement des EnR, ne peut cependant se faire qu'en lien avec « le territoire », l'échelle la plus légitime pour permettre l'appropriation des projets par les citoyens. Le monde universitaire et de la recherche a également vocation à accompagner cette transition, en valorisant des travaux interdisciplinaires indispensables pour traiter un enjeu aussi systémique que celui de l'énergie.

C'est l'objet de ce cahier thématique d'AcclimaTerra de présenter les enjeux et les perspectives des différentes énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine, où elles sont déjà présentes, et pour certaines d'entre elles, ont un potentiel important de développement. Cependant, ce panorama ne doit pas occulter quelques paramètres incontournables.

En premier lieu, la consommation d'énergie actuelle n'est pas soutenable. Tous les scénarios énergétiques futurs ont aujourd'hui une composante « sobriété » majeure. Ainsi, à l'échelle régionale, il est prévu une diminution par deux de la consommation énergétique d'ici 2050. Or, à ce stade, les objectifs de sobriété énergétique sont loin d'être atteints, à l'exception peut-être de l'année 2020 où l'activité économique s'est fortement contractée du fait de la pandémie de Covid-19.

Deuxièmement, entre l'énergie primaire par exemple celle fournie par le soleil et l'énergie effectivement utilisable pour la satisfaction des différents usages, les technologies disponibles affichent de forts pourcentages de perte. La réflexion sur les énergies renouvelables se doit d'intégrer cet enjeu de rendement, pour ne pas créer des chaînes énergétiques trop complexes avec *in fine* des rendements trop faibles.

Troisièmement, les équipements utilisés (panneaux solaires, éoliennes, méthaniseurs, électrolyseurs...) requièrent des matériaux coûteux et dont l'obtention génère des pollutions (notamment des métaux et terres rares). Il est établi que pour disposer de la même quantité d'énergie, il faudra plus de ces matériaux rares pour les équipements mobilisés dans les technologies d'EnR que ce n'était le cas pour les énergies fossiles. De plus, la construction de ces équipements demande également de l'énergie. Il faudra donc privilégier l'usage de matériaux suffisamment abondants pour ne pas se retrouver bloqué dans le développement des filières. Cet enjeu de sécurisation des approvisionnements en matières minérales nécessaires aux EnR est d'autant plus important qu'une large partie de l'extraction et du traitement est aujourd'hui réalisée par la Chine.

Pour que le panorama soit complet, il faut inscrire les enjeux énergétiques de la transition en considérant aux côtés des contraintes techniques, le rôle des sociétés humaines. Aujourd'hui, la production d'énergie est largement « invisible » pour l'habitant de Nouvelle-Aquitaine. En revanche, le développement des EnR se traduit concrètement par des éoliennes, des panneaux solaires, des méthaniseurs, etc., dont l'installation sur le territoire affecte la vie des habitants.

Il est donc nécessaire de considérer la place des citoyens au sein de ce nouveau système énergétique afin de concilier les enjeux territoriaux avec l'accélération de la transition écologique et énergétique. Cela passe par une véritable appropriation par les habitants des projets EnR en s'appuyant sur l'établissement de relations nouvelles entre producteurs et usagers des sources d'énergie. Les communautés d'énergies renouvelables, malgré leurs limites, peuvent constituer un élément de solution.

L'un des objectifs de ce cahier est d'apporter un état de l'art des réflexions sur ces questions pour permettre au lecteur de mieux appréhender les avancées scientifiques et techniques sur les EnR, mais aussi les limites à leur développement et les enjeux sociétaux associés.

Coordination : Sylvain Roche

Rédaction : Carlos Manuel Alves, Jérôme Barrière, Simon Billaud-Curvale, Rafaël Bunales, Romain Carrausse, Cairiona Carter, Benoît de Guillebon, Stéphanie Dechézelles, Sylvie Ferrari, Armelle Gomez, François Larroque, Amandine Loeb, Fabrice Mauvy, Isabelle Moretti, Sylvain Roche, Andy Smith, Benjamin Tyl

Contribution : Jean-Baptiste Beigbeder, Mathieu Bernard, Antoine Bouzin, Marie Bové, Rafaël Bunales, Yohana Cabaret, Stéphane Gubert, Fabrice Klein, Bernard Plisson, Céline Viron

Relecture : Yohana Cabaret, Sébastien Chailleux, Daniel Compagnon, Emmanuel Garnier, Bernard Legube, Clémence Marcher, Arnaud Sergent, Didier Swingedouw, Mohamed Taabni

Sommaire

Introduction.....	08
Glossaire.....	12
Unités utilisées.....	13
Unités de puissance.....	13
Unités d'énergie.....	13
 1 • État des lieux de la situation énergétique en Nouvelle-Aquitaine.....	16
 2 • L'éolien terrestre, une énergie d'avenir pour le territoire néo-aquitain.....	20
2.1 Introduction, un bref état des lieux.....	21
2.2 Un déploiement local pour des objectifs multiscalaires.....	22
2.3 Approprier la transition énergétique dans les territoires.....	24
2.4 De la nécessité de chasser les idées reçues sur l'éolien terrestre.....	25
2.5 Quels défis territoriaux pour demain ? Quelques éléments en guise de conclusion.....	27
 3 • L'énergie photovoltaïque en Nouvelle-Aquitaine : structuration, incitations et défis politiques.....	28
3.1 Un système productif important.....	29
3.2 Un système multi-échelles d'incitations publiques.....	30
3.3 Défis et incertitudes.....	32
Conclusion.....	33
 4 • La géothermie.....	34
4.1 Les géothermies : principes.....	35
4.2 Ressources géothermiques sur le territoire.....	36
4.3 Les verrous.....	39
4.4 La géothermie en Nouvelle-Aquitaine, une ressource en devenir.....	40
Conclusion.....	41

Sommaire

 5 • Bioénergies.....	42
5.1 Introduction.....	43
5.2 Le bois énergie, une des premières énergies renouvelables.....	44
5.3 Méthanisation, un élément majeur du futur de l'agriculture.....	45
5.4 Les microalgues, quel futur ?.....	47
 6 • Hydrogène.....	48
6.1 La production d'hydrogène.....	50
6.2 L'utilisation de l'hydrogène.....	51
6.3 Transport et stockage de l'hydrogène.....	51
Conclusion.....	53
 7 • Les ports commerciaux néo-aquitains face à la transition énergétique.....	54
7.1 Les ports commerciaux néo-aquitains : profils contrastés, transitions différencées.....	56
7.2 Repenser le modèle de consommation et de production d'énergie.....	58
7.3 Développer l'accueil des énergies renouvelables.....	58
7.4 Encourager le report modal en faveur de la mobilité fluviale et ferroviaire.....	60
7.5 Réinventer la gouvernance portuaire et tisser (ou approfondir) les liens avec les villes...61	
7.6 Bien intégrer les populations locales dans les nouveaux projets énergétiques.....	62
Conclusion La fragilité des projets, entre temporalité et gouvernance.....	63
 8 • Communautés énergétiques.....	64
8.1 Contextualisation : l'énergie, l'Europe et les régions.....	65
8.2 La Nouvelle-Aquitaine à l'épreuve : une citoyenneté ravalée aux mécanismes du marché ?.....	66
Conclusion.....	67
Conclusion générale.....	68
Bibliographie.....	70
Contributeurs.....	78

Glossaire

- **AAP** : Appel à projet
- **ADEME** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- **ADI** : Agence de développement des investissements
- **AFPG** : Association Française des professionnels de la géothermie
- **AG** : Assemblée générale
- **AIE** : Agence Internationale de l'Énergie
- **AIVP** : Association internationale villes et ports
- **ANAH** : agence Nationale de l'Habitat
- **ANSES** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- **AREC** : Agence Régionale d'Évaluation Environnement et Climat
- **ARENH** : Accès Régulé à l'Électricité Nucléaire Historique
- **ATES** : Système de stockage de chaleur inter saisonnier
- **BRGM** : Bureau de recherches géologiques et minières
- **CCI** : Chambre de commerce et d'industrie
- **CCR** : Centre commun de recherche
- **CCUS** : Carbon Capture Utilisation and Storage
- **CEC** : Communautés énergétiques citoyennes
- **CENAQ** : Connexion électrique des navires à quai
- **CEOG** : Centrale Électrique de l'ouest Guyanais
- **CER** : Communautés d'énergie renouvelables
- **CFE** : Cotisation Foncière des Entreprises
- **CIMER** : Comité interministériel de la mer
- **CIRENA** : Citoyens en réseau Énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine
- **CNDP** : Commission nationale du débat public
- **CODEV** : Conseil de Développement
- **COP** : contrat d'objectifs et de performance
- **CRE** : Commission de régulation de l'énergie
- **CTE** : Comité Technique d'Établissement
- **CVAE** : Cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises
- **DREAL** : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- **EDF** : Electricité de France
- **DSF** : Document Stratégique de la Façade
- **EHPAD** : Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes
- **EMR** : Énergies marines renouvelables
- **EnR** : Énergies renouvelables
- **ENSEGID** : Ecole Nationale Supérieure en Environnement, Géoressources et Ingénierie du Développement durable
- **EPCI** : Établissement public de coopération intercommunale
- **ESPO** : Établissements et Services de Préorientation
- **GES** : Gaz à effet de serre
- **GIEC** : Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat
- **GPM** : Grand port maritime
- **HDF** : Hydrogène de France
- **IAE** : Insertion par l'activité économique
- **ICPE** : installation classée pour la protection de l'Environnement
- **IFER** : Imposition Forfaitaire sur les Entreprises de Réseau
- **INTERREG** : Programme européen visant à promouvoir la coopération entre les régions européennes et le développement de solutions communes dans les domaines du développement urbain, rural et côtier, du développement économique et de la gestion de l'environnement.
- **IRENA** : Agence Internationale de l'Énergie Renouvelable
- **JRC** : Joint Research Center
- **LPEC** : loi de programmation sur l'énergie et le climat
- **LTECV** : loi de transition énergétique pour la croissance verte
- **MER** : Matières Énergies Rochelaises
- **MTE** : Ministère de la Transition Écologique
- **NEGAWATT** : Association de promotion et de développement du concept et de la pratique négawatt dans la société française. Elle appuie sa démarche sur la sobriété énergétique, l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables.
- **OPF** : Opérateurs ferroviaires de proximité
- **OPQIBI** : Organisme de Qualification de l'Ingénierie
- **PAC** : Pompe à chaleur
- **PCAET** : Plan Climat Air Énergie Territorial
- **PEEPOS** : Port à énergie et économie positives
- **PLIE** : Plans locaux pluriannuels pour l'insertion et l'emploi
- **PLU** : Plan local d'urbanisme
- **PLUi** : Plan local d'urbanisme intercommunal
- **PNM** : Parc naturel marin
- **POCTEFA** : Programme Interreg V-A Espagne-France-Andorre
- **PPA** : Power Purchase Agreement - vente de gré à gré, est un contrat de droit privé liant un producteur d'électricité à un ou plusieurs consommateurs
- **PPE** : programmation pluriannuelle de l'énergie
- **PV** : Photovoltaïque
- **R&D** : La recherche et le développement
- **RED** : directive sur les énergies renouvelables
- **RSA** : Revenu de solidarité active
- **RTE** : Réseau de transport d'électricité
- **S3REnR** : Schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables
- **SDA** : Schéma Directeur d'Aménagement
- **SDEE** : Syndicat départemental d'énergie électrique
- **SCoT** : Schéma de cohérence territoriale
- **SDDR** : Schéma décennal de développement du réseau
- **SFEC** : stratégie française pour l'énergie et le climat
- **SHS** : Sciences humaines et sociales
- **SNBC** : stratégie nationale bas carbone
- **SNP** : stratégies nationales portuaires
- **SPV** : Special Purpose Vehicle ou société de projet
- **SRADDET** : Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires.
- **TBM** : Transports Bordeaux Métropole
- **TEPCV** : Territoires à énergie positive pour la croissance verte
- **TEPOS** : Territoires à énergie positive
- **TFUE** : traité de fonctionnement de l'Union Européenne
- **TRL** : Technology readiness level - niveau de maturité technologique
- **TZC** : Territoire Zéro Carbone
- **UE** : Union Européenne
- **UPPA** : Université de Pau et des Pays de l'Adour
- **USA** : United States of America - Les États Unis
- **VNF** : Voies navigables de France
- **ZIP** : Zone industrialo-portuaire

Unités Utilisées

Unités de puissance

W : Watt. Le watt est une unité de puissance (quantité d'énergie délivrée en un pas de temps donné).
Un watt est équivalent à une énergie d'un joule délivrée pendant une seconde.

Dans ce document, les multiples suivants sont utilisés :

- kW (kilowatt) : $1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$
- MW (mégawatt) : $1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}$
- GW (gigawatt) : $1 \text{ GW} = 10^3 \text{ MW} = 10^6 \text{ kW} = 10^9 \text{ W}$
- TW (térawatt) : $1 \text{ TW} = 10^3 \text{ GW} = 10^6 \text{ MW} = 10^9 \text{ kW} = 10^{12} \text{ W}$

Dans le cas de panneaux solaires photovoltaïques, les puissances sont souvent exprimées en kWc (kilowatt-crête), voire en MWc (mégawatt-crête). Ces unités indiquent une puissance en cas d'exposition optimale aux rayonnements solaires.

Unités d'énergie

Wh : Watt-heure. Le watt-heure est une unité d'énergie, et est équivalent à une puissance d'un watt délivrée pendant une heure.

Dans ce document, les multiples suivants sont utilisés :

- kWh (kilowatt-heure) : $1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh}$
- MWh (mégawatt-heure) : $1 \text{ MWh} = 10^3 \text{ kWh} = 10^6 \text{ Wh}$
- GWh (gigawatt-heure) : $1 \text{ GWh} = 10^3 \text{ MWh} = 10^6 \text{ kWh} = 10^9 \text{ Wh}$
- TWh (térawatt-heure) : $1 \text{ TWh} = 10^3 \text{ GWh} = 10^6 \text{ MWh} = 10^9 \text{ kWh} = 10^{12} \text{ Wh}$

CONSOMMATION
en Nouvelle-Aquitaine
~10% de celle de France
métropolitaine

156 000 GWh
en 2020

En baisse suite
au Covid-19

CONSOMMATION D'ÉNERGIE



BÂTIMENTS TRANSPORTS
Ensemble 2/3 de la consommation
régionale finale

POIDS DES ÉNERGIES FOSSILES



CHARBON PÉTROLE GAZ NATUREL } ~60 %
varie fortement d'un secteur à l'autre
(32 % secteur résidentiel - 92 % secteur transports)

PRODUCTION D'ÉNERGIE RÉGIONALE 81 TWh en 2020

62 % ÉLECTRICITÉ 50 TWh dont
• 39 TWh électronucléaire
• 11 TWh EnR

33 % CHALEUR 27 TWh issus d'EnR

5 % BIOCARBURANTS 4 TWh sur 4 sites de production
de la région

0,3 % INJECTION BIOGAZ 0,2 TWh

ÉOLIEN

5^e Région éolienne
en France
CONCENTRATION
au nord de la région
PUISSANCE
ACTUELLE } **1,3 GW**

PRODUCTION **2 706 GW**

7% } CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Accélérer le rythme

Réalisation d'un projet
éolien = concertation -
implication - inclusion

Acceptation sociale
et insertion paysagère

PHOTOVOLTAÏQUE

1^{re} région productrice
D'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE
SOLAIRE } **3 837 GWh d'énergie**

DÉFIS ET INCERTITUDES

- 1 Planification spatiale
- 2 Résistance locale aux projets
- 3 Relations producteurs <-> distributeurs
- 4 Concentration, fragmentation de la production d'énergie
- 5 Dépendance à des fournisseurs étrangers
- 6 Artificialisation des sols
- 7 Valoriser l'Agri-Photovoltaïque

GÉOTHERMIE

ATOUTS

Non intermittente Impact environnemental faible Facture énergétique limitée
Adéquation locale demande/ressource Production de froid renouvelable

VERROUS

Adéquation spatiale demande /production Investissement important Acceptation sociétale Déficit de visibilité et reconnaissance

PRODUCTION TOTALE EN GÉOTHERMIE PROFONDE

123 GWh en 2020

BIOÉNERGIES

60% de la production
d'EnR dans la région

24 783 GWh
en 2020

BOIS ÉNERGIE
OBJECTIF SRADET
40 % de la
production d'ici 2050

MÉTHANISATION
Opportunité pour
l'agriculture.
Acceptabilité sociale
à construire

MICROALGUES
production
de biocarburants

HYDROGÈNE

H₂ bas carbone selon la source

Par combustion directe
ou pile à combustible

Priorité : décarboner l'industrie

USAGES



VERROUS



LES PORTS EN TRANSITION

4 Ports commerciaux
La Rochelle - Bordeaux
Bayonne - Rochefort
Tonnay-Charente

Infrastructures vulnérables
face au changement climatique

Marché hautement
concurrentiel

Vulnérabilité économique
déclin des hydrocarbures
et du charbon

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE,
un levier de changement

Repenser le modèle
consommation-
production d'énergie

Devenir "territoires
d'accueil" des EnR

Encourager le report
modal vers le fluvial
et le ferroviaire

Liens avec les villes
et les territoires

Mieux associer les
populations locales

COMMUNAUTÉS ÉNERGÉTIQUES

Les acteurs individuels
s'engagent dans des
collectifs de citoyens.

2010

Impulsion de la transition
vers les EnR et
la dimension citoyenne.



L'ENTRÉE EN SCÈNE DU CITOYEN

aux côtés du producteur
et du consommateur
pour favoriser l'acceptabilité
sociale des ENR



UN OUTIL PERMETTANT

une meilleure appropriation,
territorialisation des projets EnR

État des lieux de la situation énergétique en Nouvelle-Aquitaine

CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE

La consommation d'énergie finale à climat réel de la région Nouvelle-Aquitaine, qui représente environ 10 % de celle de la France métropolitaine, a atteint presque 156 000 GWh (ou 156 TWh) en 2020 (Figure 1), contre 170 000 GWh les années précédentes. Cette diminution, de plus de 8 % en un an, est liée au contexte sanitaire de l'année 2020 ayant entraîné une baisse significative de l'activité économique (et des consommations d'énergie dans les transports et l'industrie notamment), mais également à un hiver particulièrement doux limitant les consommations d'énergie liées au chauffage.

Cette consommation en Nouvelle-Aquitaine a connu une baisse relative, de l'ordre de 5,9 % entre 2005 et 2019, plus ou moins marquée chaque année selon la rigueur des hivers.

Les bâtiments (secteurs résidentiel et tertiaire) et les transports représentent ensemble les deux tiers de cette consommation régionale d'énergie finale. Le poids des énergies fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel) représente presque 60 %, mais varie fortement d'un secteur à l'autre (de 32 % pour le secteur résidentiel à 92 % pour les transports).

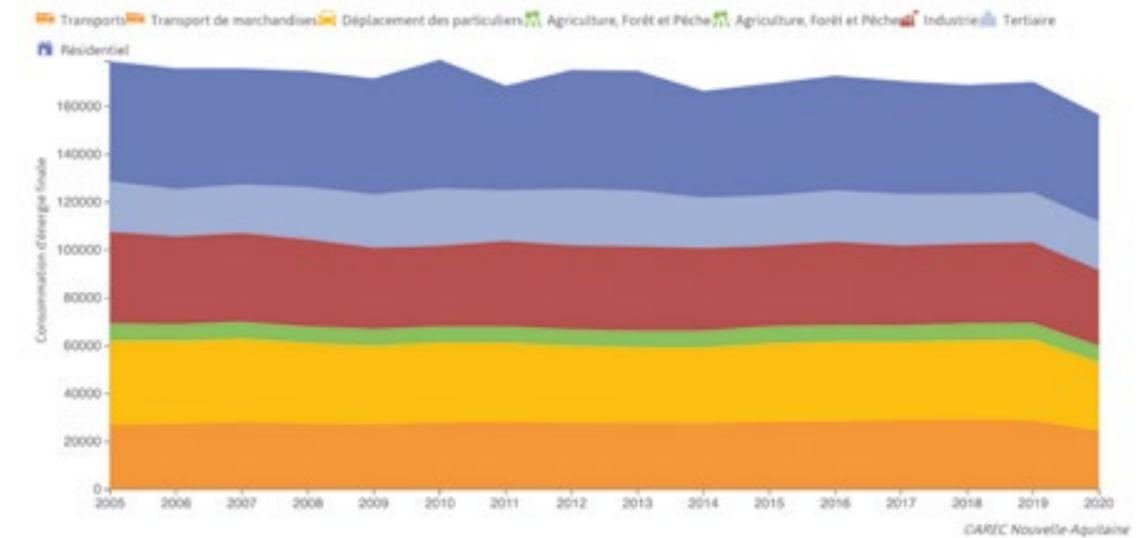


Figure 1 : Consommation d'énergie finale en 2020 pour la région Nouvelle-Aquitaine (Source : AREC).

PRODUCTION D'ÉNERGIE

La production d'énergie régionale s'élève à 81 TWh en 2020, et se répartit comme suit (Figure 2) :

- 62 % d'électricité, soit 50 TWh :
 - 39 TWh d'origine électronucléaire (38 TWh en 2020, contre 45 à 50 TWh les années précédentes) ;
 - 11 TWh issus d'EnR (principalement l'hydraulique, le solaire photovoltaïque et l'éolien) ;
- 33 % de chaleur, soit 27 TWh (dont 23 TWh issus de la biomasse), quasi-exclusivement issus d'EnR ;
- 5 % de biocarburants, soit 4 TWh répartis sur les 4 sites de production de la région ;

• 0,3 % d'injection de biogaz, soit 0,2 TWh (cette production, encore marginale, tend à se développer significativement).

Il faut également signaler une production résiduelle de pétrole brut, dont la Nouvelle-Aquitaine est une des deux zones d'exploitation en France (1% des besoins à l'échelle nationale au total). La Nouvelle-Aquitaine accueille avec l'Île-de-France l'essentiel de la production pétrolière française autour des lacs côtiers aquitains (Arcachon, Sanguinet, Cazaux et Biscarosse).

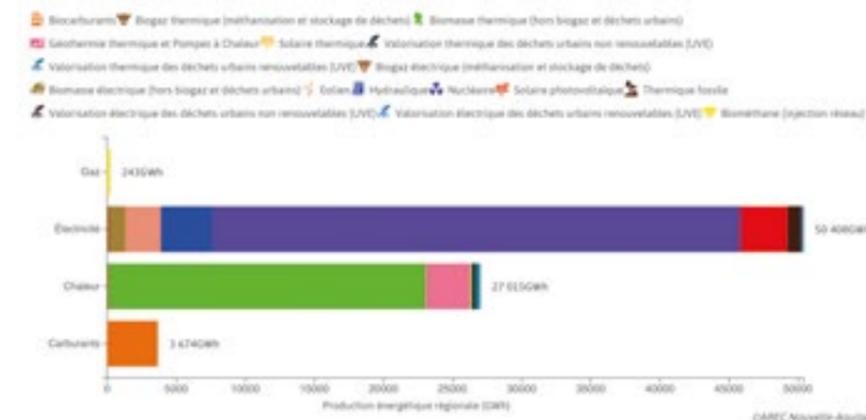


Figure 2 : Production d'énergie en 2020 pour la région Nouvelle-Aquitaine (Source : AREC).

Au total, l'ensemble des filières renouvelables permet la production de 42 TWh d'énergie dans la région, contre 23 TWh en 2005 (Figure 3). Cette hausse concerne principalement les chaufferies biomasse (hors bois énergie des particuliers), les biocarburants, le solaire photovoltaïque, l'éolien et les pompes à chaleur.

Produit énergétique	Filière	Production annuelle (TWh)	
		2005	2020
Carburants	Biocarburants	0,0	3,7
	Hydraulique	3,2	3,7
Électricité	Éolien	0,0	2,6
	Solaire PV	0,0	3,4
	Autres EnR électrique	0,6	1,4
	Bois particuliers	11,9	10,6
Chaleur	Biomasse thermique	7,1	12,6
	Pompes à chaleur	0,2	2,9
	Autres EnR électrique	0,3	0,8
	Gaz	Biogaz injecté	0,0
Total		23,3	41,9

Figure 3 : Production annuelle d'énergie selon la filière (Source : AREC).

ÉVOLUTION AU REGARD DES OBJECTIFS RÉGIONAUX

Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET) élaboré en 2019 fixe notamment les objectifs finaux suivants :

- Une diminution de la consommation d'énergie finale de 30 % par rapport à son niveau de 2005 à l'horizon 2030 (et 50 % en 2050).
- Une part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie finale de 50 % à l'horizon 2030 (et à 100 % en 2050).

Si comme le montrent les évolutions de ces deux indicateurs depuis 2005 (Figure 4), les dynamiques engagées sont positives, le rythme constaté est trop lent et n'assure donc pas le respect des objectifs précités.

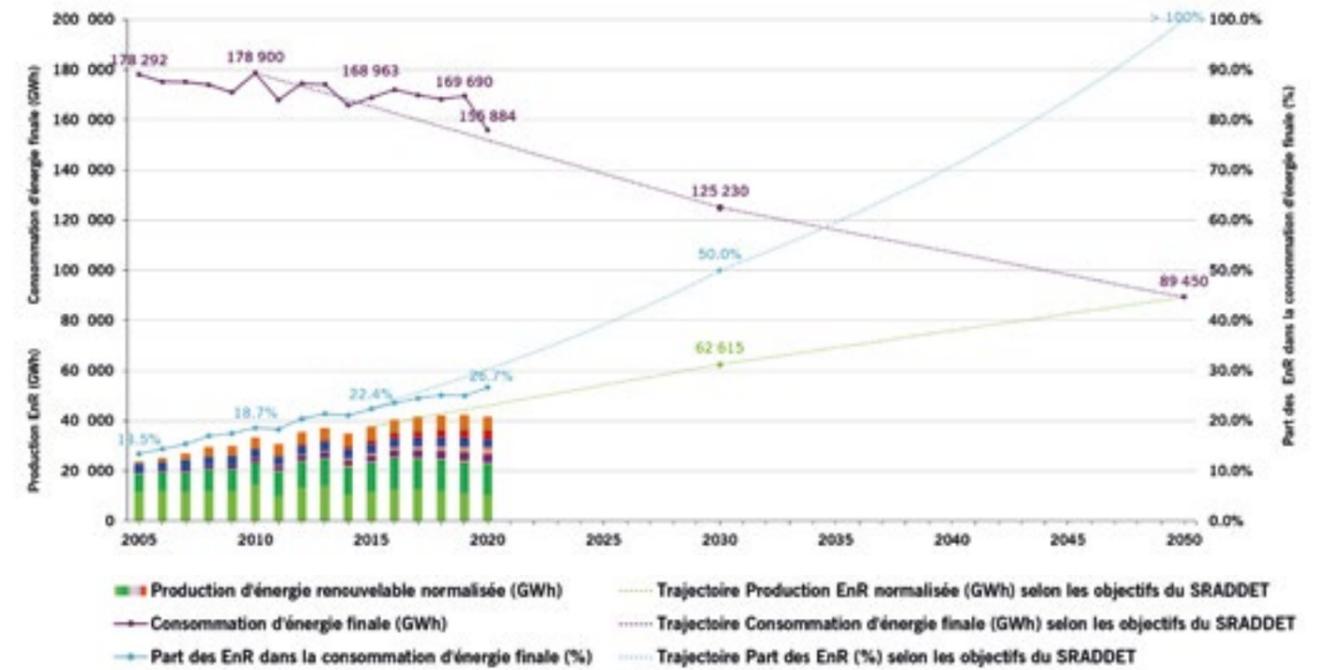


Figure 4 : Objectifs du SRADDET et dynamiques régionales engagées (Source : AREC).



2

L'éolien terrestre, une énergie d'avenir pour le territoire néo-aquitain

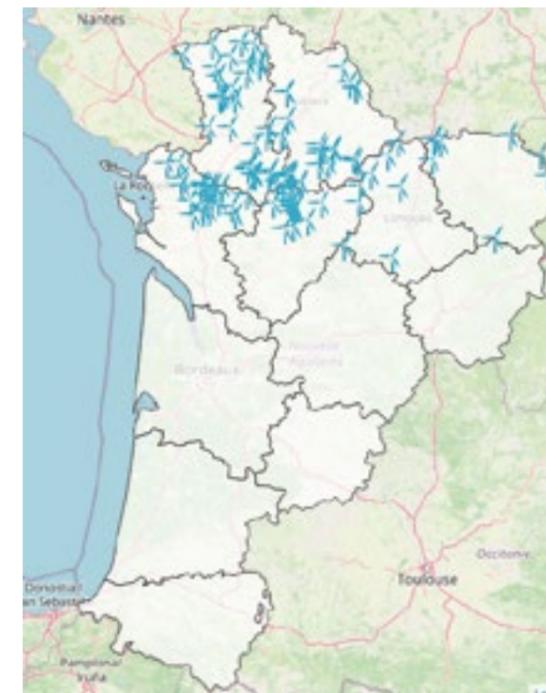
2.1

UN BREF ÉTAT DES LIEUX

Les installations éoliennes terrestres sont bien présentes en Nouvelle-Aquitaine mais leur répartition sur le territoire est très inégale (Figure 5). Sur les douze départements néo-aquitains, 52 % de la puissance éolienne installée est présente sur deux départements, les Deux-Sèvres et la Charente-Maritime, tandis que cinq départements ne comportent aucune installation en fonctionnement en 2022.

Cette situation résulte à la fois des contraintes objectives d'implantation (potentiel éolien très variable sur le territoire, servitudes administratives diverses depuis les zones de survol militaires jusqu'aux zones naturelles protégées), et à la fois des fortes résistances rencontrées dans de nombreux territoires face à des projets d'implantation même très modestes.

À la fin 2021, 603 éoliennes étaient installées en Nouvelle-Aquitaine, totalisant une puissance d'un peu plus de 1,3 GW pour une production de 2706 GWh [2]. Cette production équivaut à environ 7 % de la consommation électrique de la région (39 TWh) [3]. La Nouvelle-Aquitaine est la 5^e région éolienne de France. La Figure 6 montre l'évolution de la production annuelle par département.



2.2

UN DÉPLOIEMENT LOCAL POUR DES OBJECTIFS MULTISCAIRES

Dans la continuité du Pacte vert (*Green Deal*) de 2019, feuille de route visant à rendre l'Union européenne neutre en émissions de carbone d'ici 2050, la Commission européenne a publié en juillet 2021 un ensemble de textes traduisant cette ambition en action politique concrète [4]. Ce « paquet climat », nommé *Fit for 55* (« Paré pour 55 »), établit une nouvelle cible pour l'UE : la baisse de 55 % des émissions de GES à l'horizon 2030 par rapport au niveau atteint en 1990 [5]. Parmi les douze textes composant ce « paquet climat » figure une version révisée de la directive sur les énergies renouvelables (RED II). Celles-ci introduit comme objectif contraignant de porter à au moins 40 % la part de renouvelables dans le mix énergétique européen en 2030.

Ces objectifs européens ont été transposés en droit français par ordonnance [6]. La France est le seul pays européen à ne pas avoir atteint l'objectif commun d'une part de 23 % d'EnR dans sa consommation finale d'énergie en 2020, là où les 26 autres états-membres l'ont tous dépassé [7].

Au niveau régional, les objectifs nationaux sont déclinés dans les SRADDET des quinze régions. Le SRADDET Nouvelle-Aquitaine a été définitivement approuvé en mars 2020 par la préfète de région [8]. Il prévoit une puissance éolienne terrestre comprise entre 4,5 et 5,5 GW en 2030, et entre 7,6 et 10 GW en 2050 [9].

Il est à noter que le rythme actuel d'évolution de la filière éolienne en Nouvelle-Aquitaine reste très en-deçà de ce qui serait nécessaire pour respecter les objectifs du SRADDET aux horizons 2030 et 2050 (Figure 7).



Figure 5 : Répartition des installations éoliennes en service au 1^{er} janvier 2022 en Nouvelle-Aquitaine (Source : AREC)



Figure 6 : Évolution de la production annuelle d'énergie éolienne par département en Nouvelle-Aquitaine (source : AREC).

Ainsi, en poursuivant cette tendance, la Nouvelle-Aquitaine aurait en 2030 une puissance éolienne terrestre installée deux fois inférieure à l'objectif. Au-delà des projets d'éolien en mer qui relèvent de la compétence de l'État, il est bien nécessaire d'accélérer le rythme de déploiement de l'éolien terrestre pour atteindre les objectifs fixés à l'échelle régionale.

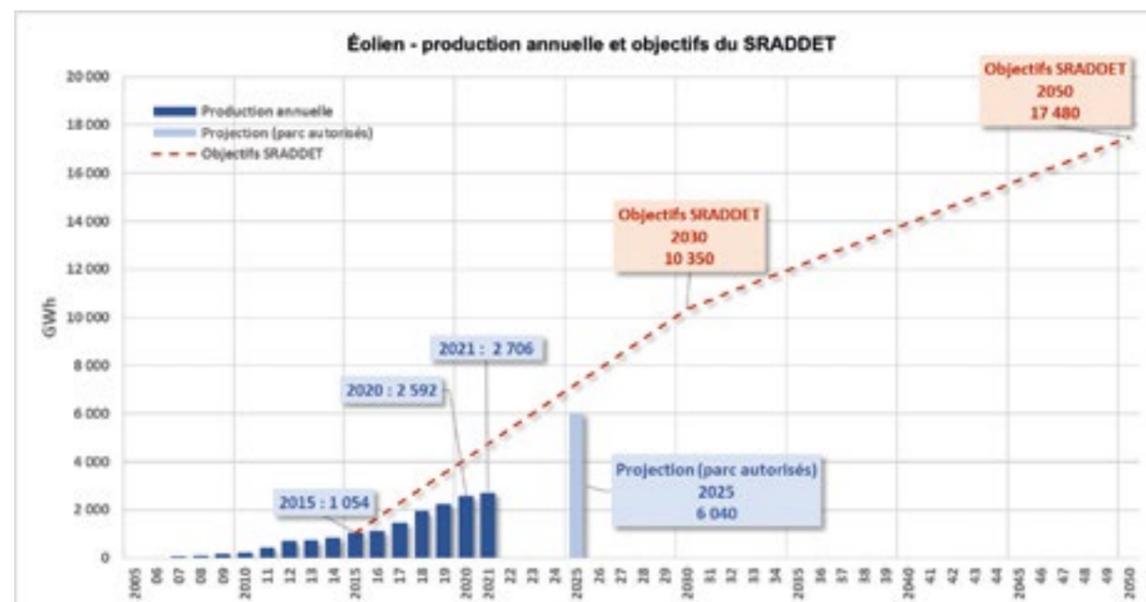


Figure 7 : production annuelle éolienne en Nouvelle-Aquitaine et objectifs du SRADET (Source : AREC)

2.3

S'APPROPRIER LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DANS LES TERRITOIRES

Plusieurs études d'opinion tendent à montrer que les éoliennes sont des dispositifs appréciés, voire consensuels. Ainsi, une étude menée en 2021 par l'ADEME et le Ministère de la Transition Écologique montre que 73 % des Français ont une bonne image des éoliennes et 71 % sont favorables à leur développement [10]. Selon la même source, les riverains ont le plus souvent une image plus positive que la moyenne de la population : à moins de 10 km d'une installation, 80 % des riverains ont ainsi une image positive de l'énergie éolienne. Pourtant, une très forte proportion de projets éoliens terrestres (variable cependant selon les régions) fait l'objet d'opposition locale et de recours nombreux devant les tribunaux.

De nombreux facteurs viennent influencer l'attitude face à un parc éolien au niveau local, notamment la perception que les habitants du territoire n'ont pas été associés au développement du projet [11]. Une enquête réalisée par Harris Interactive, révèle également que les riverains installés depuis longtemps dans leur commune se montrent plus favorables à l'installation d'éoliennes que les nouveaux arrivants [12]. Ces néo-habitants, souvent issus de catégories sociales plus dotées économiquement et culturellement, ayant quitté les zones urbaines pour profiter des aménités de la campagne, sont plus enclins à protester et disposent des compétences pour se documenter, organiser des comités locaux et faire pression sur les élus afin qu'ils se positionnent.

Les questions de transition énergétique sont complexes et supposent une coopération des acteurs à tous les niveaux : élus, administrations publiques, secteur privé et citoyens. L'implication de ces derniers est un facteur décisif de réussite des projets. De nombreux outils sont à portée de main des porteurs de projets, des collectivités et acteurs locaux. Ces dispositifs, pour certains encore peu connus, permettent de maximiser les retombées positives pour le territoire, favorisant par là même l'appropriation des projets.

Trois grands principes doivent guider les porteurs de projet et la collectivité à la réalisation d'un projet éolien : la concertation, l'implication et l'inclusion.

2.3.1 LA CONCERTATION : LE PROJET ET LES RIVERAINS

La prise en compte des avis des habitants sur un projet d'aménagement du territoire est essentielle. En premier lieu, il convient de rappeler que l'installation d'éoliennes est très réglementée, qu'un parc éolien est une installation classée pour la protection de l'Environnement (ICPE) soumise à enquête publique.

Les porteurs de projet devront donc s'assurer d'obtenir l'accord de la commune d'implantation, l'accord du ou des propriétaires fonciers, et de réaliser des études environnementales (1 an de suivi biodiversité sur le site avant implantation, notamment), des études techniques, des études de dangers, des études paysagères... L'ensemble de ces études est ensuite regroupé dans un document appelé dossier d'autorisation environnementale contenant notamment l'étude d'impact [13], ensuite mis à la disposition de tous lors de l'enquête publique.

L'étude d'impact est un instrument d'aide à la décision qui évalue les conséquences potentielles de projets sur l'environnement, le patrimoine, la population... Elle contient une description du projet, de l'état du site avant le projet, et de mesures répondant à la séquence « Éviter, Réduire, Compenser » (ERC), obligatoire depuis 1976 et régulièrement consolidée depuis [14].

Ce triptyque ERC s'articule autour de mesures permettant :

- D'éviter les incidences négatives ;
- De réduire celles qui ne peuvent être évitées ;
- De compenser celles qui ne peuvent être ni évitées, ni réduites.

Cette étude permet d'informer le public et d'éclairer aussi l'autorité administrative pour décider des conditions d'autorisation, et aide le maître d'ouvrage à concevoir un projet plus respectueux de l'environnement et du territoire. Un résumé non technique de cette étude est librement consultable dans les mairies proches pour faciliter la compréhension du projet par le public.

L'enquête publique se tient à l'issue de la publication de l'étude d'impact. Les habitants, dans un rayon de 6 km autour du projet sont invités à donner leur avis et poser leurs questions dans un registre disponible en mairie ou lors des permanences d'un commissaire enquêteur, nommé par le Tribunal Administratif. Elle donne lieu à un affichage obligatoire dans un rayon de 6 km (ce rayon peut être élargi si nécessaire). L'enquête en elle-même dure 30 jours et peut être prolongée par le commissaire enquêteur s'il le juge nécessaire.

Le Préfet statue sur le projet sur la base du rapport du commissaire enquêteur¹. De l'enquête publique peuvent découler également des prescriptions complémentaires (par exemple sur l'éloignement, le niveau de bruit...) qui pourront être imposées par le Préfet [15]. Pour les projets éoliens les plus conséquents, la Commission nationale du débat public (CNDP) est automatiquement saisie, ouvrant un débat public ou une concertation préalable [13]. Cette concertation est souvent menée de façon imparfaite et la procédure de l'enquête publique est souvent critiquée, comme AcclimaTerra l'a déjà évoqué dans son rapport de 2018². C'est pourquoi il est nécessaire d'aller plus loin. Les porteurs de projet ont de nombreuses possibilités pour permettre aux riverains de s'exprimer, au-delà des seules obligations légales : consultation préalable des habitants, concertation, ateliers de co-construction... En mandatant un tiers neutre, les porteurs de projet intègrent au plus tôt les besoins du territoire et assurent une bonne transparence du processus de décision. Certains opérateurs vont plus loin, en mettant en place un échange avec

les riverains tout au long de la vie d'un projet.

2.3.2 L'IMPLICATION DANS LE PROJET ET LES PROJETS CITOYENS : DES OPPORTUNITÉS POUR LES ACTEURS DU TERRITOIRE

Près de 4 Français sur 10 déclarent être prêts à investir dans des projets éoliens qui s'implanteraient à proximité de chez eux [10]. Depuis la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV), les dispositions en faveur du financement participatif (*crowdfunding*) ont été renforcées. Elles permettent aux citoyens de financer des projets éoliens et d'en percevoir les bénéfices. Le baromètre 2021 du financement participatif, réalisé par Financement Participatif France en partenariat avec GreenUnivers révèle l'engouement pour l'éolien terrestre [16]. En 2021, 11,4 M€ ont ainsi été collectés, contre 3 M€ en 2020 ! Conscient du potentiel du financement participatif dans la transition énergétique, le Ministère de la transition écologique a signé une convention avec l'association Financement Participatif France, mettant en place un label pour garantir la qualité des projets [17].

Cette forme de placement est souvent avantageuse pour les riverains des projets, qui bénéficient de taux plus attractifs. Au-delà du financement participatif, certains opérateurs peuvent faire bénéficier les riverains de la production de leurs parcs. Ils proposent ainsi aux habitants de communes riveraines de parcs éoliens de bénéficier de tarifs préférentiels pour leur facture d'électricité [18][19].

Une autre forme d'implication des habitants est le « projet citoyen » où ce sont des habitants qui portent eux-mêmes le projet. De plus en plus de citoyens se mobilisent autour de projets de production d'électricité. La France compte ainsi 515 projets énergétiques d'initiative citoyenne, sous différentes formes [20]. Ce chiffre reste timide par rapport à l'Allemagne où 42 % des capacités EnR électrique installées entre 2000 et 2016 étaient possédées par des particuliers, ou via des coopératives ou sociétés locales [21] ! Sur le territoire néo-aquitain, on dénombre 28 projets citoyens dont 8 dans le domaine de l'éolien pour l'année 2019. Plus de 2000 citoyens sont ainsi impliqués dans les énergies citoyennes. Il convient de noter que l'évolution des porteurs de projets citoyens d'énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine fait apparaître une place croissante des associations ou collectifs citoyens ainsi que des sociétés citoyennes dans ces projets depuis 2016³.

Les collectivités bénéficient d'importantes retombées locales générées par les projets d'énergies renouvelables. En effet, les loyers et la fiscalité (CVAE, IFER, CFE) représentent environ 35 % des recettes locales potentielles d'un projet éolien [22]. Il est possible pour les collectivités locales ou leurs groupements de capter une partie plus large des richesses générées par les projets d'énergie, de renforcer l'acceptabilité locale des projets et de les intégrer dans une démarche territoriale en investissant au capital des sociétés de projet (SPV). Elles deviennent ainsi actionnaires du parc. Elles peuvent aussi s'associer à des opérateurs dans des sociétés d'économie mixte (SEM). Certaines régions ont lancé des fonds d'investissement régionaux pour soutenir le développement des projets d'énergies renouvelables participatifs, par exemple le fonds OSER de la région Auvergne-Rhône-Alpes, en partenariat avec le Conseil Régional et la Banque des Territoires [23].

1. Depuis le 1^{er} mars 2017, un document sur l'urbanisme édité par le gouvernement précise que l'autorisation environnementale tient lieu de permis de construire : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Eolien_et_urbanisme_guide_a_destination_des_elus_nov_2019_0.pdf (p.36) (éolien et urbanisme, guide à destination des élus).

2. Rapport AcclimaTerra 2018, chapitre Participation locale et appropriation citoyenne

3. Ciren, 2019, Les chiffres clés des énergies citoyennes, novembre : <https://ciren.fr/medias/chiffres-cl%C3%A9s-2019.pdf>

BON À SAVOIR LES RETOMBÉES LOCALES

La Banque des Territoires a édité en 2020 un guide à l'attention des collectivités locales, détaillant comment maximiser ces retombées locales !



Si elles ne disposent pas des compétences nécessaires en interne, les collectivités peuvent être accompagnées dans leurs projets d'énergie par des opérateurs énergétiques territoriaux [25].

Enfin, l'implication des collectivités dans les projets permet d'accroître les retombées financières locales. On estime ainsi que les projets éoliens portés par les collectivités et/ou les citoyens génèrent des retombées deux à trois fois supérieures pour le territoire [26].

2.3.3 LES CLAUSES D'INSERTION : FAVORISER L'INCLUSION SOCIALE

Les clauses sociales permettent de conjuguer insertion professionnelle et transition énergétique, en utilisant la commande publique ou privée comme levier d'accès à l'emploi. En pratique, un pourcentage des heures travaillées dans le cadre de travaux de construction ou d'une prestation de services est réservé à des personnes en difficulté d'insertion professionnelle pour leur permettre d'obtenir un salaire, des compétences, une qualification.

Ces clauses sont initialement un dispositif intégré dans le code des marchés publics. D'abord promue au moyen de circulaires en 1993 et 1995 sous la forme de clause de « mieux disant social », puis intégrée au Code des marchés publics de 2001 comme possible condition d'exécution d'un marché, la clause sociale fait sa réapparition dans l'ordonnance du 23 juillet 2015 et son décret d'application du 25 mars 2016 du même code.

La clause sociale peut ainsi être prise en compte dans les conditions de l'exécution d'un marché, être un critère d'attribution, ou constituer l'objet du marché. En effet, des dispositifs complémentaires permettent même de réserver des marchés à des entreprises adaptées ou des structures équivalentes employant une proportion minimale de travailleurs handicapés ou encore à des structures d'insertion par l'activité économique.

Un des principaux facteurs de réussite du dispositif est l'existence d'un accompagnement des entreprises qui s'engagent, par un acteur territorial de l'emploi, de l'insertion et de la qualification. Le Réseau Alliance Villes-Emploi anime depuis le début des années 2000 un réseau des facilitateurs clause d'insertion (PLIE, Maison de l'emploi, service insertion du département ou d'une EPCI...), qui ont pour mission d'accompagner les donneurs d'ordre publics. Le public visé correspond à des critères précis tels que demandeur d'emploi de plus de 12 mois ou âgé de plus de 50 ans, allocataire du RSA, jeune de moins de 26 ans sorti du système scolaire.

Ainsi, par exemple, VALOREM, entreprise régionale d'EnR utilise ces clauses d'insertion depuis 2016, en réservant 7 % des heures travaillées sur ses projets à l'insertion professionnelle des personnes en difficulté et a prévu, dès 2022, d'augmenter ce taux à 10 %. L'entretien des espaces naturels des parcs en exploitation devra également être confié à des structures de l'insertion par l'activité économique (IAE) ou du handicap. Encore peu appliquées dans le cadre la transition énergétique, les clauses d'insertion permettent de conjuguer développement de l'éolien avec lutte contre l'exclusion sociale !

2.4 DE LA NÉCESSITÉ DE CHASSER LES IDÉES REÇUES SUR L'ÉOLIEN TERRESTRE

Un grand nombre d'idées reçues persistent à l'égard des projets éoliens de sorte que leur implantation sur le territoire peut susciter des contestations locales¹. Il est donc important de faire face au poids de la désinformation en rappelant quelques vérités majeures sur l'éolien terrestre.

Le mythe selon lequel les **ÉOLIENNES NE SERAIENT PAS RECYCLABLES** a la vie dure. Or, 93 % du poids d'une éolienne terrestre est totalement recyclable (acier, béton, cuivre et aluminium). Depuis juin 2020, la réglementation impose des objectifs de recyclage, à la fois pour les éoliennes déjà installées et pour les éoliennes futures. A partir du 1^{er} janvier 2024, tout parc en fin d'exploitation aura obligation de recycler 95 % de la masse totale (fondations incluses) [27]. Les pales (6 % du poids) sont aujourd'hui plus difficiles à recycler, mais peuvent être valorisées en tant que combustible. Par ailleurs, plusieurs projets de pales recyclables commencent à aboutir. Depuis septembre 2021, Siemens-Gamesa commercialise les premières pales d'éoliennes *offshore* recyclables [28], et LM Wind a sorti son premier prototype de pale 100 % recyclable en mars 2022 [29].

Un argument souvent mis en avant par les néo-habitants ayant acheté ou rénové leur demeure campagnarde tient à un supposé **IMPACT NÉGATIF SUR LA VALEUR DE REVENTE DE LEUR BIEN**. Les études menées sur le sujet en France concluent à un impact indéterminé ou inexistant sur les prix de l'immobilier. LADEME estime que cet impact est de l'ordre de 1,5 %/m², « soit 5 à 15 fois moins que la marge d'appréciation des agents immobiliers en milieu rural » [30].



L'ARGUMENT DU BRUIT est également souvent invoqué, bien que les émissions sonores des éoliennes soient strictement réglementées. En 2017, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a mené une étude sur l'impact sonore des éoliennes, qui a conclu que leurs émissions acoustiques audibles ne dépassaient pas les seuils prévus par la réglementation et étaient, bien souvent, « très en-deçà de celles de la vie courante » [31]. Un document de l'ADEME de 2019 situe la nuisance sonore au niveau des bruits dans une habitation et

bien en-deçà des 80 dB d'une automobile par exemple. De plus, les éoliennes ne doivent pas dépasser le bruit ambiant de +3dB la nuit et +5dB le jour [32]. Enfin, la loi impose une distance minimale d'éloignement entre un mât éolien et une habitation de 500 mètres [33].

L'IMPACT VISUEL DES ÉOLIENNES pour les riverains est souvent mis en avant. De fait, l'implantation d'éoliennes doit prendre en compte des critères paysagers, et tout développeur doit fournir une analyse de l'impact paysager de son installation dans sa demande d'autorisation. L'installation à proximité d'un site patrimonial remarquable, notamment un monument historique, est subordonnée à l'avis – très souvent négatif – de l'Architecte des Bâtiments de France. Le Préfet peut en outre décider par arrêté de prescrire des mesures complémentaires pour atténuer l'impact. Enfin, les entretiens avec les riverains montrent le caractère très variable et subjectif de la perception du paysage

Un argument qui rallie un grand nombre de protecteurs de la nature est **L'IMPACT DES ÉOLIENNES SUR LES OISEAUX ET LES CHIROPTÈRES**. Dans une étude de 2017, la LPO estime qu'une éolienne peut être responsable de la mort de 0,3 à 18 oiseaux par an [34]. Des travaux aux Etats-Unis suggèrent que l'impact cumulé du parc éolien – sans commune mesure avec le parc français – sur les oiseaux est significatif, affectant pour la moitié des 23 espèces étudiées, l'effectif global de l'espèce. Cependant, les données disponibles montrent également que l'impact des tours de communication est bien supérieur, celui des lignes électriques est cinq fois plus grand, mais n'atteint ni celui des collisions avec des bâtiments aux parois de verre (20 fois plus) et se situe loin derrière l'impact des chats errants ; des chiffres de l'*US Fish & Wildlife Service* que ne contestent pas des ONG comme *American Bird Conservancy* et *Sierra Club* [35] [16]. Le poisson et les collisions avec les véhicules figurent également parmi les causes importantes de mortalité aviaire. Selon une estimation de la LPO, un chat errant en France est responsable de la mort d'environ 60 oiseaux par an [36].



1. Le propos de cette section n'est pas d'entrer dans le débat et les jeux d'acteurs sur l'opposition à l'éolien.

L'impact des éoliennes est aussi à appréhender selon les espèces, pour les oiseaux comme pour les chauves-souris, de leurs altitudes de vol, habitudes de reproduction, s'il s'agit d'une espèce migratoire ou non etc. Par exemple, une étude européenne en cours sur le milan royal tend à montrer qu'il coexiste bien avec les éoliennes, mais subit beaucoup de pertes du fait des collisions avec les véhicules et de l'empoisonnement de ses proies par les agriculteurs [37][32]. Outre l'obligation d'accompagner le développement du parc éolien installé d'un suivi scientifique (suivi de mortalité, comptage entre autres), il convient de travailler avec les industriels sur des dispositifs permettant d'avertir et d'écarter la faune concernée. De tels systèmes sont très utiles car ils permettent en période de forte activité des chauves-souris de brider les éoliennes et de respecter ainsi les vols en période migratoire.

Enfin, **L'ENJEU BIODIVERSITÉ** est pris en compte en amont par les autorités qui instruisent les projets d'éoliennes. L'étude d'impact doit mentionner précisément les espèces d'oiseaux et de chauves-souris présentes dans la zone d'implantation et un suivi environnemental doit être mis en place par l'exploitant. Les couloirs de migration et les différentes zones naturelles protégées sont à éviter. Si chaque projet doit faire l'objet d'une étude minutieuse, l'impact sur la biodiversité ne peut être brandi comme un argument pour s'opposer à tout projet éolien terrestre.

Beaucoup d'opposants mettent en avant le **BILAN CARBONE** des éoliennes qui les disqualifieraient pour la transition énergétique. Or, l'ADEME a mené en 2017 une analyse de cycle de vie des installations éoliennes. L'éolien terrestre émet ainsi 14,1 g CO₂ eq/KWh, moins que la moyenne d'émission du mix électrique français (entre 50 CO₂ eq/Kwh et 80 CO₂ eq/Kwh selon les périodes de l'année)[38].

Une autre affirmation fallacieuse consiste à considérer la nécessité d'ouvrir de **NOUVELLES CENTRALES À GAZ OU AU CHARBON** pour pallier le caractère variable – la fameuse intermittence – de la production éolienne ou solaire. Cela a été démenti par le Réseau Transport Électri-

cité de France (RTE) [39]. RTE a également rappelé que la production éolienne française se substitue à une production thermique carbonée et permet de lutter efficacement contre le réchauffement climatique en France et en Europe. Selon RTE, les émissions évitées s'élèvent à environ 22 millions de tonnes de CO₂ par an (5 millions de tonnes en France et 17 millions de tonnes dans les pays voisins).

Le développement de l'éolien terrestre **SUBVENTIONNÉ L'ENRICHISSEMENT DES EXPLOITANTS AVEC DE L'ARGENT PUBLIC**. En réalité, les dispositifs de soutien en place sont dimensionnés de manière à garantir une rentabilité suffisante mais raisonnable. La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) exerce un contrôle sur la rentabilité des dispositifs de soutien. Les mécanismes d'appel d'offre pour attribuer le soutien permettent de sélectionner les installations les moins chères et d'entretenir une concurrence sur les prix. Les opérateurs sont tenus de reverser la différence entre le prix de marché et le tarif cible qui leur a été attribué en appel d'offre. La CRE estime ainsi que la filière éolienne devrait reverser 8,6 milliards d'euros au budget de l'État en 2022-2023 [39]. Outre l'argent reversé à l'État dans le cadre des mécanismes de soutien, il faut ajouter les ressources fiscales pour les collectivités et les communes : en moyenne, une éolienne de 2 MW génère entre 10 000 et 15 000 euros de ressources fiscales par an pour les collectivités au titre de l'IFER. Si l'on ajoute les taxes foncières, la Cotisation foncière des entreprises et la Cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises, le bloc communal et le bloc des collectivités (département et région) reçoivent approximativement respectivement 7 500 euros et 4 500 euros par MW installé [27].

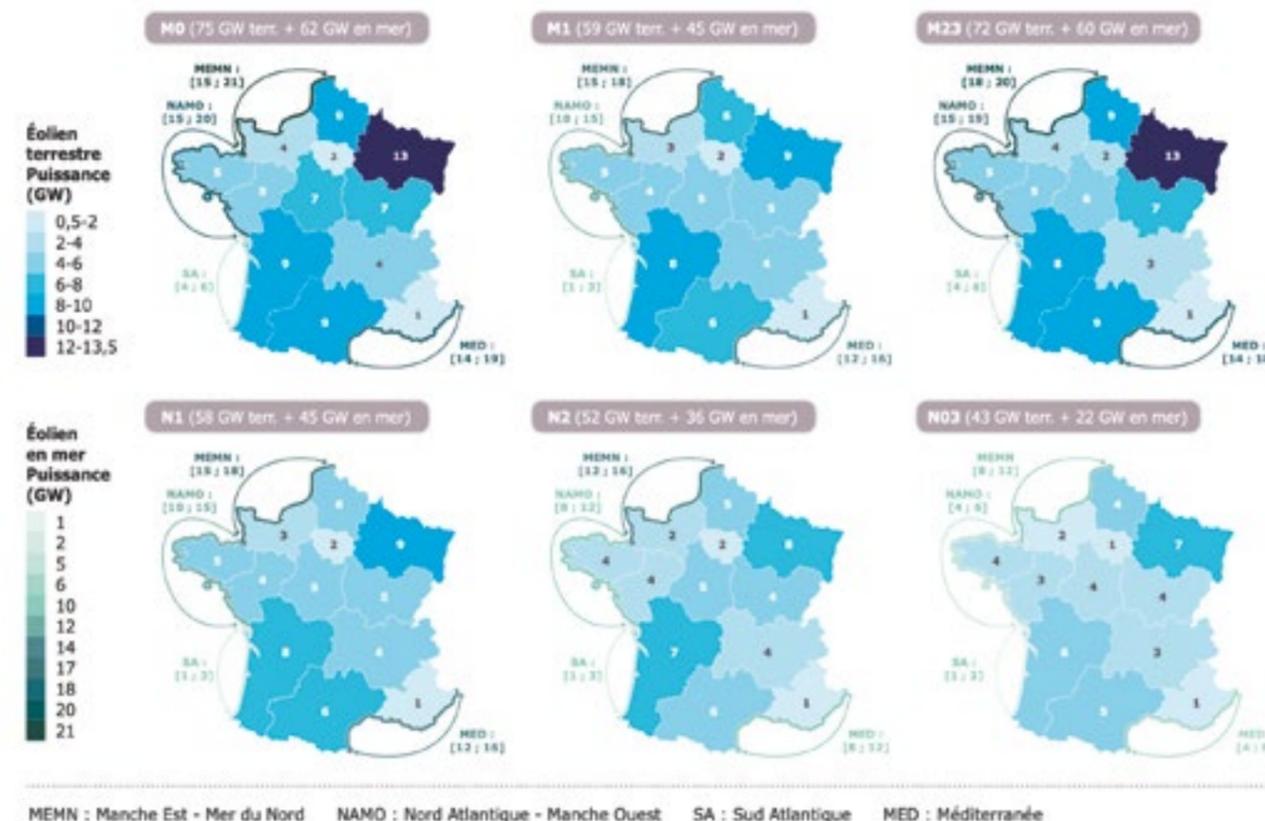
2.5

QUELS DÉFIS TERRITORIAUX POUR DEMAIN ?

L'horizon des possibles en matière de transition énergétique et écologique sur le territoire néo-aquitain ne peut s'inscrire que dans la perspective d'atteindre l'objectif de neutralité carbone à l'horizon 2050. Les différents travaux prospectifs réalisés par l'ADEME, RTE et négaWatt permettent d'imaginer la place des EnR dans le mix énergétique pour la France selon différents scénarios. Tous accordent une place de choix à des EnR diversifiées. Comme l'indique la **Figure 8**, quel que soit le scénario RTE retenu, la région Nouvelle-Aquitaine est dotée d'un fort potentiel de développement de l'éolien terrestre à l'horizon 2050, de 6 à 9 GW. D'ici 2050, des changements de technologies pourraient conduire à moins de mâts mais des hauteurs et des puissances plus élevées, ce qui changerait les conditions d'implantation des projets.

Dans ce contexte, la région peut donc tirer parti de son potentiel éolien pour contribuer à la transition énergétique et écologique française, tout en répondant à un objectif de rééquilibrage sur son territoire entre la dynamique de métropolisation qui tend à concentrer l'espace productif et les ressources, et l'exclusion des territoires excentrés, ruraux, avec un accès difficile aux ressources dont l'énergie. L'éolien terrestre peut contribuer à cet objectif tout en mobilisant les citoyens dans la participation aux projets éoliens et en leur assurant un accès de proximité à l'énergie produite.

La transition énergétique et écologique dépend aussi du contexte socioculturel qui guide les usages, les modes de vie, les croyances etc. et accompagne les transformations au niveau de la société en considérant la vulnérabilité de certaines parties de la société. Cette dimension doit contribuer à la réussite de la transition sur les territoires. Dès lors, la transition peut ouvrir la voie à des initiatives citoyennes autonomes en matière de changement et contribuer au respect de la diversité des modes d'appropriation par les acteurs sur le territoire.



3

L'énergie photovoltaïque en Nouvelle-Aquitaine : structuration, incitations et défis politiques

Les chiffres semblent parler d'eux-mêmes : en bénéficiant de 26,8 % du parc national photovoltaïque, la Nouvelle-Aquitaine est de loin la région française qui produit le plus d'électricité d'origine solaire. Pour autant, la structuration de cette production comporte des caractéristiques qui nécessitent d'abord d'être mises à plat et, somme toute, relativisées (3.1). Partant de là, ce chapitre exposera les facteurs de développement de cette EnR dans la région en interrogeant d'abord, le faisceau d'incitations publiques censé impulser (3.2), puis les défis à la fois politiques et économiques auxquels, aujourd'hui, ses promoteurs font face (3.3)¹. Plus généralement, il s'agit de comprendre les causes qui expliquent que cette région, au-delà de sa production de 3 837 GWh d'énergie au travers son parc photovoltaïque en 2021, est toujours très loin d'atteindre les objectifs que ses dirigeants politiques se sont fixés dans le SRADET : 9 700 GWh en 2030 et 14 300 GWh en 2050² (Figure 9).



Figure 9 : Production d'énergie photovoltaïque comparée aux objectifs du SRADET (source : AREC).

3.1

UN SYSTÈME PRODUCTIF IMPORTANT

Les statistiques présentées sur le site de l'AREC³ soulignent, notamment, que fin 2021, la Nouvelle-Aquitaine :

- comportait 515 installations photovoltaïques de plus de 250 kWc ;
- venait de générer 3 837 GWh de production par photovoltaïque, soit le triple par rapport à 2014. Depuis 2015, cette production augmente de 350 GWh par an en moyenne.

À y regarder de plus près toutefois, la production d'énergie solaire connaît sur ce territoire des inégalités fortes de deux types : interterritoriale et d'installation. De plus, le système productif régional pâtit d'un certain nombre de manques qui se situent en amont et en aval de la production et de la transmission de l'énergie solaire elle-même.

Concernant les inégalités territoriales, elles renvoient à la concentration géographique de ce système de production. Les départements de la Gironde et des Landes génèrent plus de la moitié de cette énergie, tandis que d'autres en produisent des quantités négligeables (ex. la Haute-Vienne - Figure 10).

Pour expliquer ce déséquilibre interdépartemental, trois raisons sont avancées par les acteurs du terrain. On évoque tout d'abord « la force des pionniers » localisés en Gironde et dans les Landes. Ensuite, l'impact des tempêtes de 1999 et de 2010 est souvent mentionné. Ces catastrophes naturelles ont subitement généré des terres « en friche » et, par conséquent, ont conduit à la baisse du prix des terres, du moins provisoirement. Enfin, pour la Gironde on pointe la proximité géographique entre la production d'énergie solaire et la localisation de gros usagers d'électricité.

Par ailleurs, le deuxième type d'inégalité qui marque le système productif régional concerne la taille et le type d'installation, qui varient considérablement. À Cestas en Gironde par exemple, se situe la plus grande centrale solaire photovoltaïque de France⁴. À quelques kilomètres de là, le projet Horizéo prévoit le développement d'un site photovoltaïque trois fois plus grand.

Ensuite, pour ce qui concerne la filière photovoltaïque dans son ensemble, il importe de souligner que ses dimensions amont et aval demeurent sous-développées.

Pour l'amont, aujourd'hui l'essentiel de la fabrication des pièces qui sont vitales à la filière (notamment les cellules et les modules photovoltaïques, ainsi que les onduleurs) se fait à l'étranger, et notamment en Asie. Au cours des années 2000, la production de panneaux solaires en France a chuté face à l'émergence de la production de masse et à bas coût des concurrents chinois (selon un modèle économique qui se moque du respect des droits de l'homme et bénéficie du soutien financier d'État). Cette compétition, se cumulant avec l'innovation technologique, a contribué à la chute des prix, mais aussi la mise en faillite de nombreuses entreprises françaises et européennes [41]. Certes, depuis 2011-2012, l'Agence de développement des investissements (ADI) tente de restructurer cette partie de la filière. Aujourd'hui, en Nouvelle-Aquitaine, une vingtaine d'entreprises de taille relativement importante y participent. En particulier, des composantes clés sont fabriquées à Châtelleraut et à Roquefort. Néanmoins, la production régionale reste largement insuffisante par rapport à la demande actuelle et future. Par ailleurs, selon les acteurs interviewés, la reprise de cette partie de la filière dans la région souffre toujours d'un niveau d'intégration relativement faible.

1. En plus des sources documentaires indiquées, ce chapitre a bénéficié d'entretiens effectués auprès de plusieurs acteurs de la filière. Au sujet de l'agrovoltaïsme et de la planification spatiale, en plus d'une revue de presse, d'une revue scientifique et d'une étude de cas, plus d'une dizaine d'entretiens ont été réalisés auprès d'acteurs du secteur agricole, du secteur énergétique, de la filière agrovoltaïque, de l'administration d'État décentralisée, des acteurs gestionnaires de réseau et des collectivités.

2. Le Conseil régional, dans sa feuille de route « Neo Terra » fixe pour objectif pour la production photovoltaïque 8,5 GW par an en 2030 et 12,5 GW en 2050.

3. <https://www.arec-nouvelleaquitaine.com/>

4. Il s'étend sur 260 ha et comprend 985 000 modules photovoltaïques. Sa capacité de production annuelle est de 300 MWc (un chiffre équivalent à la consommation électrique annuelle de 240 000 personnes).



Figure 10 : Évolution de la production annuelle d'énergie photovoltaïque par département en Nouvelle-Aquitaine (source : AREC).

Le système productif néo-aquitain pâtit également de la structuration de sa dimension « aval ». Dans une partie importante de la région, le nombre relativement faible d'installateurs de panneaux reste problématique.

Enfin, il faut pointer également la faible capacité régionale en matière de recyclage de panneaux en fin de vie. Ces derniers sont généralement remplacés après 25 ans d'usage, moment où se pose la question de leur recyclage. Certes, l'entreprise Soren (ex-PV Cycle), a été chargée par l'État de collecter et traiter ces panneaux photovoltaïques

en fin d'exploitation. En Nouvelle-Aquitaine, un premier centre de réemploi de panneaux solaires usagés existe depuis septembre 2022.

Au total, il ne fait pas de doute qu'au cours de la dernière décennie s'est développé en Nouvelle-Aquitaine un système productif important en matière d'énergie solaire. Cependant, faute notamment d'avoir également développé un maillage territorial équilibré ainsi que ses dimensions amont et aval, la croissance durable de ce système est loin d'être toujours assurée.

3.2

UN SYSTÈME MULTI-ÉCHELLES D'INCITATIONS PUBLIQUES

Comme dans de nombreux pays dans le monde [42][43], la production d'énergie solaire en Nouvelle-Aquitaine a été amorcée puis soutenue par une variété d'interventions publiques. En France, cet interventionnisme est tout à la fois national, régional, départemental et local. La description d'instruments d'action publique qui suit n'a pas vocation à être exhaustive. Il s'agit surtout de prendre la mesure de la complexité du mode d'implication de ces divers acteurs publics dans la production d'énergie solaire néo-aquitaine.

En ce qui concerne l'intervention étatique, la recherche en sociologie économique a déjà bien décrit l'histoire longue et en dents de scie de ses subventions, obligations et tarifs d'achat [41][44]. Aujourd'hui, les actions de l'État sont rassemblées dans son *Plan solaire*¹. Lancé début 2020, et sans faire figurer ici tous les soutiens étatiques en matière de R&D, les principales mesures de ce plan comprennent :

- le maintien des obligations d'achat à des tarifs fixes pour les installations photovoltaïques sur bâtiment d'une puissance inférieure à 100 kWc ;
- des compléments de rémunération accordés, *via* les appels d'offres, aux opérateurs qui installent une puissance supérieure à 500 kWc ;
- la vente garantie du surplus d'électricité à l'EDF qui a l'obligation de l'acheter à un tarif fixe garanti pendant 20 ans ;

- des subventions de l'Agence Nationale de l'Habitat (l'ANAH) en fonction des améliorations de l'efficacité énergétique des logements d'au moins 25 % ;

- des « écopréts » à taux zéro destinés à financer des travaux d'amélioration de la performance énergétique des logements.

À l'échelle régionale, parfois en mobilisant en complément les fonds structurels de l'Union européenne, le Conseil régional pilote des actions qui comprennent :

- un fond d'investissement : Terra Energies (créé en 2016) ;
- son soutien pour la création d'un cluster énergie-stockage ;
- un effort soutenu entre 2013 et 2020 pour encourager la production photovoltaïque en toiture et en autoconsommation² ;
- depuis 2020, à la place des incitations à l'autoconsommation, la région privilégie à sa place des contrats d'achat d'électricité photovoltaïque en gré à gré pour les entreprises, ou les sites industriels, qui consomment annuellement plus de 10 GWh d'électricité³ ;
- ainsi qu'une action spécifique concernant « l'agri-solaire », c'est-à-dire l'installation de panneaux photovoltaïques dans des exploitations agricoles⁴ (voir encadré).

EN NOUVELLE-AQUITAINE, L'AGRIVOLTAÏSME CULTIVE PROMESSES ET INCERTITUDES¹

Si « l'agri-solaire » est le terme employé par la région Nouvelle-Aquitaine, « l'agrivoltaïsme » est la dénomination qui s'impose dans le champ politique et scientifique [45][46]. Ce terme désigne un système de production qui concilie sur une même parcelle production énergétique, au moyen de panneaux photovoltaïques, et production agricole. L'agrivoltaïsme regroupe différents systèmes : centrales au sol, serres photovoltaïques, ombrières fixes et mobiles, ainsi que des panneaux sur toitures par exemple. Les travaux scientifiques sur le sujet consistent à étudier les effets de l'ombre - produite par les panneaux - sur le rendement des cultures, sur la biodiversité, sur le bilan en termes d'atténuation du changement climatique ou sur la protection des cultures contre les aléas climatiques [47].

En Nouvelle-Aquitaine, l'agrivoltaïsme a de multiples facettes. Près d'Agen, 9 hectares de serres photovoltaïques ont vu le jour en septembre 2018 pour la culture de Kiwi rouge [48]. À Saint-Magne, une nouvelle centrale solaire a été inaugurée en 2019, où une convention a été signée entre Total Quadra et un éleveur de Cestas pour faire paître ses ovins [49]. Près de Mont-de-Marsan dans les Landes, le projet Terr'Arbouts porté par des agriculteurs et des éleveurs, vise l'installation de 300 MW de panneaux solaires sur 1200 hectares de terres agricoles. Les revenus générés seront alors dédiés aux financements de cultures plus économes en eau et en intrants [50]. À Denguin, dans les Pyrénées-Atlantiques, un projet a rencontré des oppositions de riverains et du milieu agricole local face à l'implantation de 16000 poulets et de 15 000 m² de panneaux solaires sur une même parcelle [51].

Ainsi, l'agrivoltaïsme cultive des promesses : il serait une des réponses à la problématique des conflits d'usage entre énergie et agriculture, diversifierait les revenus des agriculteurs et serait une solution face aux aléas et au changement climatiques [52][53][54]. Néanmoins, son développement fait face à plusieurs défis et toutes les incertitudes ne sont pas levées sur ce système de production. En premier lieu, ce terme renvoyant à de « simples » centrales au sol avec une activité d'élevage en dessous, aux ombrières mobiles pilotées à distance en fonction des besoins d'ombrage de la culture, il requiert une définition réglementaire de ce qui relève de l'agrivoltaïsme. En ce sens, un travail de l'ADEME est en cours pour donner à l'agrivoltaïsme une définition officielle, sur la base de critères de qualification – comme les services apportés à la vocation agricole - et de critères d'attention - par exemple la vocation agricole du projet ou la réversibilité du système. En second lieu, des incertitudes scientifiques persistent sur les effets de l'ombrage des panneaux solaires sur différentes variétés de culture – en témoignent les travaux du programme de recherche Sun'Agri, menés en partenariat entre le groupe Sun'R et l'INRAE [55].



1. Ce travail résulte des recherches menées dans le cadre de la chaire Teen de l'UPPA et du projet de recherche SoWeSI.

Ensuite, les syndicats départementaux de l'énergie jouent un rôle d'accompagnement, voire d'initiative en la matière. En effet, dans plusieurs départements de la région Nouvelle-Aquitaine, les agents de ces syndicats départementaux conseillent non seulement des entreprises et des particuliers, mais aussi les élus des instances intercommunales et communales. À ces échelles locales, il se peut que des aides soient accordées pour l'installation de panneaux photovoltaïques ou des installations collectives thermiques. Mais plus souvent de telles aides font partie de projets locaux soutenus, et souvent financés, par l'État ou la Région, tels que les TEPOS (Territoires à énergie positive), les Territoires à énergie positive pour la croissance

verte (TEPCV). En Gironde par exemple, le SDEEG s'est engagé, à travers sa Société d'Économie Mixte (SEM) Gironde Energies, dans le développement de projets photovoltaïques [56].

En résumé, les soutiens publics pour le développement de l'énergie solaire en France, et dans la région Nouvelle-Aquitaine en particulier, sont nombreux. Pour autant, certaines de leurs caractéristiques, comme les failles en amont et en aval de la filière photovoltaïque ou la relative modestie des subventions publiques accordées, sont autant de facteurs qui expliquent le développement encore modeste de ce mode de production énergétique.

1. <https://www.ecologie.gouv.fr/solaire>

2. Selon nos interviewés, ce mode de production comporte au moins deux grands avantages : il constitue un moyen pour éviter les taxes, et donc pour baisser considérablement les coûts pour l'entreprise, l'administration ou l'organisation qui autoconsomme ; il encourage ces opérateurs, ex. une grande surface, à maîtriser sa consommation d'énergie. En revanche, l'autoconsommation est opposée par l'EDF qui préférerait que toute production EnR passe par le réseau national.

3. <https://les-aides.nouvelle-aquitaine.fr/transition-energetique-et-ecologique/contrats-dachat-delectricite-photovoltaïque-en-gre-gre-green>

4. <https://les-aides.nouvelle-aquitaine.fr/transition-energetique-et-ecologique/agri-solaire-projets-pilotes-et-industriels>

3.3

DÉFIS ET INCERTITUDES

Si l'énergie solaire connaît toujours un taux de croissance important en Nouvelle-Aquitaine, il faudra, pour atteindre les objectifs fixés par les pouvoirs publics nationaux et régionaux, accélérer davantage encore cette croissance. Pour ce faire, les défis suivants doivent être relevés tant par les responsables de l'action publique que par les dirigeants des entreprises concernées. Se pose également la question du positionnement de certains acteurs de la société civile, en particulier les riverains des projets de parcs photovoltaïques au sol de grande envergure.

3.3.1 DIMINUER LE NIVEAU D'INCERTITUDE SUR LES SITES DISPONIBLES POUR LE PHOTOVOLTAÏQUE : L'ENJEU DE LA PLANIFICATION SPATIALE

Un premier défi concerne l'identification de sites potentiels de parcs photovoltaïques. Si faire un tel état des lieux paraît relativement simple sur le principe, au vu des controverses récentes concernant les évaluations effectuées par certains consultants sur les zones délaissées propices [57], ce n'est clairement pas le cas. Pour ce qui concerne les projets d'installation en toiture, devant l'absence de contrainte juridique forte, les enquêteurs rencontrent très souvent de la résistance de la part des propriétaires des bâtiments et des espaces dont les sols sont déjà artificialisés. Et dès qu'il est question d'installations au sol, les résistances se multiplient pour inclure un vaste échantillon de citoyens inquiets de l'impact de telles installations sur la forêt, les terres agricoles ou d'autres espaces classés non-constructibles. De fait, ces acteurs de la société civile mettent souvent en question les zones potentielles identifiées dans les études réalisées par les cabinets d'experts.

Ce qui est en jeu ici, c'est un exercice de planification spatiale des sites de production d'énergie solaire. Un exercice périlleux, puisqu'il doit concilier à la fois l'objectif de développement du photovoltaïque à l'échelle régionale et celui du « zéro artificialisation nette » - fixé par la loi Climat et Résilience du 24 août 2021 - et qui doit être intégré dans les documents d'urbanisme, les Schémas de Cohérence Territoriale (SCoT) et SRADDET. Tout comme les travaux de recherche sur l'éolien l'ont déjà souligné [58][59], l'identification et la planification des sites disponibles pour le photovoltaïque nécessitent que l'emporte une logique de concertation et de gouvernance multi-niveaux, multi-acteurs, conciliant différents intérêts territoriaux et sectoriels, afin d'inscrire ces implantations dans de véritables projets de territoire.

3.3.2 LES MULTIPLES FACETTES DES RÉSIDENCES LOCALES AUX PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES

Si, par département, le développement des énergies solaires est aussi hétérogène dans cette région, ce n'est pas simplement en raison de « l'offre ». C'est aussi parce que certains acteurs sociaux et politiques, notamment des élus locaux, découragent l'installation d'opérateurs solaires sur leurs territoires respectifs. En effet, pendant la réalisation de ce chapitre, un projet d'installation important a été débattu en Gironde : « Horizéo ». Portée par un consortium com-

prenant les sociétés Engie, NeoEN, RTE et la Banque des Territoires, ce projet comprenait non seulement un parc de panneaux photovoltaïques d'une puissance installée d'environ 1 gigawatt, mais aussi plusieurs « briques technologiques » associées : un centre de stockage de données, des batteries de stockage d'électricité, un électrolyseur produisant de l'hydrogène décarboné, et une unité d'agrivoltaïsme. Critiqué notamment pour « son gigantisme », la superficie forestière qu'il artificialiserait et « ses impacts sur la biodiversité et les risques d'inondation », ce projet a fait l'objet d'une procédure de débat public, entre septembre 2021 et mars 2022, animée par la Commission Nationale du Débat Public. Force est toutefois de constater que « la distance séparant les opposants des partisans du projet n'a pas diminué à l'issue du débat, comme l'attestent les prises de parole lors de la dernière réunion publique à Saucats le 14 décembre et la tonalité de certains cahiers d'acteurs. Au contraire, les cliques semblent s'être durcis au fil du débat » [60].

De telles résistances existent aussi dans le cas de l'installation de panneaux en milieu agricole ou forestier. Si certaines études montrent que l'agrivoltaïsme peut très bien concilier les objectifs environnementaux, agronomiques et économiques [53][54][55], pour l'heure cette forme de « multifonctionnalité » ne bénéficie pas d'une représentation positive dans beaucoup de territoires néo-aquitains - en attestent les oppositions générées par les projets agrivoltaïques d'Horizeo ou de Denguin (64). Ces oppositions et discours d'acteurs témoignent de plusieurs facteurs de défiance : (i) les risques d'un « effet d'aubaine » de l'agrivoltaïsme pour les acteurs de la filière photovoltaïque afin d'accéder au foncier agricole et ses conséquences redoutées en termes de spéculation ou d'inflation foncière ; (ii) le manque de concertation entre acteurs du secteur agricole et énergétique dans le déploiement de cette innovation dans le territoire ; (iii) le risque de dérives comme celles constatées dans les Pyrénées-Orientales, où l'agriculture a pu servir d'alibi pour construire des serres photovoltaïques sans cultures en dessous ; (iv) les difficultés pour l'action publique locale à évaluer la vocation agricole d'un projet, notamment au regard des plans d'urbanisme en vigueur.

3.3.3 LES PRIX ET LES RELATIONS ENTRE PRODUCTEURS D'ÉNERGIE SOLAIRE ET LES GRANDS DISTRIBUTEURS

Comme la recherche sur les EnR l'a souligné (ex. [61]), ces modes de production ne se stabilisent et se développent que si une relation équilibrée est établie entre les producteurs et ceux qui achètent l'énergie produite. Or, nous savons tous que pendant des décennies EDF a complètement dominé le marché d'électricité française. Si cette entreprise ne détient plus un statut de monopole et que les prix d'achat sont réglementés, il n'en reste pas moins que le poids économique et politique d'EDF reste considérable dans l'établissement de prix d'achat sur d'autres opérateurs, et notamment les nouveaux entrants. Si c'est surtout à l'échelle de l'État (et de l'Union européenne) que ce pouvoir d'EDF peut être cadré et régulé, la question de l'implication dans ce processus des élus régionaux et locaux mérite également d'être posée.



3.3.4 LA CONCENTRATION OU LA FRAGMENTATION DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE SOLAIRE RÉGIONALE

À s'en tenir uniquement au nombre d'entreprises impliquées, on pourrait vite conclure que la production d'énergie solaire en Nouvelle-Aquitaine s'est développée selon un modèle pluraliste, harmonieux et transparent. À regarder de plus près, toutefois, un grand écart semble séparer d'un côté un nombre limité de gros opérateurs et, de l'autre, une multiplicité de « petits ». Cette structuration duale du marché a des effets considérables sur le développement global de l'industrie de l'énergie solaire dans la région. Comment se positionnent et se positionneront les décideurs régionaux par rapport à cet état de fait ?

Les acteurs interviewés pointent notamment les enjeux liés à cette décentralisation technique dans la production de l'énergie solaire. Les défis relatifs à l'installation de nouveaux postes sources pour répondre à « l'archipel » des opérateurs producteurs d'énergie solaire en sont une bonne illustration. Cette problématique du raccordement au réseau fait ainsi l'objet de deux instruments publics : les Schémas régionaux de raccordement au réseau des énergies renouvelables (S3REnR) [62] et le Schéma décennal de développement du réseau (SDDR)[39]. Ces deux instruments montrent que la décentralisation technique s'accompagne d'une décentralisation politique : la problématique du raccordement au réseau requiert des stratégies de planification spatiale à l'échelle régionale se devant de concilier les contraintes de différents secteurs ; ces contraintes multisectorielles appellent à des logiques de concertation multi-acteurs pour relever les défis économiques, fonciers, techniques et environnementaux, afin d'adapter le réseau aux nouvelles caractéristiques spatiales de cette production.

3.3.5 QUE FAIRE FACE À UNE DÉPENDANCE À DES FOURNISSEURS ÉTRANGERS « INCONTRÔLABLES » ?

Enfin, il importe de rappeler que pour l'heure les producteurs d'énergie solaire restent largement dépendants des producteurs de panneaux localisés à l'étranger et bien souvent en

Chine. Se pose donc la question classique de comment développer une certaine autonomie vis-à-vis des chaînes de valeurs globales concernées et les aléas de leur régulation politique européenne et mondiale [63][64]. Bien entendu, ces échelles de régulation échappent largement à la plupart des acteurs néo-aquitains. Néanmoins, comment peuvent-ils agir politiquement afin d'alimenter l'État français en données et en arguments afin de peser sur les enjeux et les débats supra et internationaux en question ?

CONCLUSION

Le dynamisme politique et industriel de la Nouvelle-Aquitaine sur le plan de l'énergie photovoltaïque est une évidence. Pour autant, ce document signale, à plusieurs titres, les problématiques qui persistent au regard des objectifs fixés dans le SRADDET. Pour les résumer ici succinctement, elles sont à la fois industrielles, de planification spatiale et sociopolitiques. Les inégalités dans la taille et le type des installations, la structuration des filières amont-aval, ainsi que les prix et relations entre les producteurs et les distributeurs sont les principaux défis du tissu industriel régional.

La planification spatiale est, elle aussi, un enjeu très présent dans le discours des acteurs : elle demande de concilier des paradoxes - le développement du photovoltaïque et la lutte contre l'artificialisation des sols - mais aussi d'ancrer les projets photovoltaïques dans des projets de territoire concertés. Les résistances locales témoignent des préoccupations des collectivités et de la société civile sur les impacts paysagers ou environnementaux du développement du photovoltaïque, sur les besoins de coordonner les acteurs de différents secteurs, ainsi que sur le « gigantisme » et le caractère « hors-sol » de certains projets. À cet égard, le dynamisme de l'Occitanie dans le développement d'énergies renouvelables coopératives et citoyennes, qui a pour objectif 500 projets et 100 000 actionnaires-citoyens en 2030 [65], pourrait offrir un modèle de stratégie complémentaire au faisceau d'incitations publiques existant actuellement.



©Olivier BENOIT - Port Atlantique La Rochelle

4

La géothermie en Nouvelle- Aquitaine

4.1

LES GÉOTHERMIES : PRINCIPES

Géothermie, du grec Geo (« la Terre ») et thermos (« la chaleur ») désigne la science qui étudie les phénomènes thermiques du globe terrestre. Ce terme a été étendu à l'énergie issue de la Terre, convertible en chaleur ou en électricité. Par extension, ce terme désigne aujourd'hui également les technologies permettant l'exploitation de cette énergie. Ces technologies reposent sur deux opportunités offertes par les températures du sous-sol.

GRADIENT GÉOTHERMIQUE ET GÉOTHERMIE PROFONDE

La première opportunité est offerte par l'augmentation des températures en fonction de la profondeur (Figure 11), c'est le gradient géothermique (Figure 11), c'est le gradient géothermique. En moyenne en France, cette augmentation est de l'ordre de 3 °C pour 100 mètres. Certaines régions présentent des gradients géothermiques plus importants, à la faveur de contextes géologiques particuliers. Dans le Bassin aquitain, l'augmentation moyenne linéaire constatée de la température en fonction de la profondeur est de 2,71 °C pour 100 mètres, ce qui conduit par exemple à des températures comprises entre 60 et 80 °C à 2 000 mètres de profondeur [66].

En présence de nappes souterraines, ces gammes de température constituent une opportunité de valorisation en usage direct des eaux chaudes captées pour du chauffage, notamment via des réseaux de chaleur. C'est le principe de la géothermie profonde, qui vise des cibles à plusieurs centaines voire milliers de mètres. Pour certains gîtes géologiques particuliers, ou à très grande profondeur, les températures supérieures à 100 °C permettent une utilisation directe ou par co-génération pour la production d'électricité.

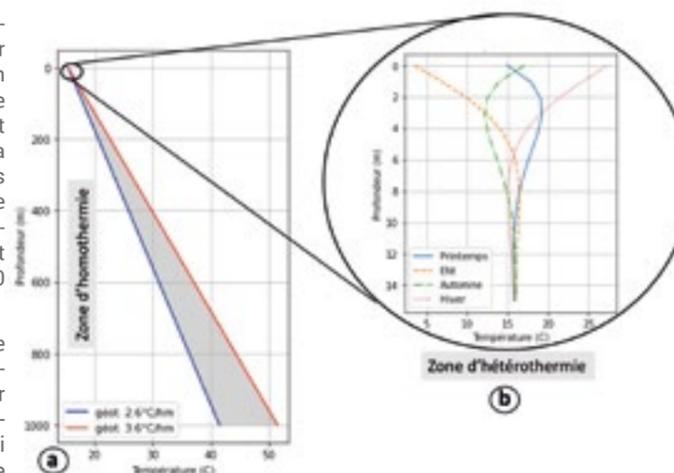


Figure 11 : distribution de la température dans le sous-sol: (a) zone d'homothermie et (b) zone d'hétérothermie (67).

ZONE D'HOMOTHERMIE ET GÉOTHERMIE DE SURFACE

La zone d'augmentation constante de la température avec la profondeur constitue la zone d'homothermie (Figure 11 a). Toutefois, avant d'atteindre cette zone, il existe une zone à proximité immédiate de la surface où la température du sous-sol est cycliquement variable, avec des cycles diurnes et des cycles de plus grande période saisonniers. C'est la zone d'hétérothermie (Figure 11 b).

La profondeur de la zone d'hétérothermie est fonction des propriétés thermiques du sous-sol, elle est généralement d'une à quelques dizaines de mètres. A cette profondeur, les températures sont classiquement constantes autour de la moyenne atmosphérique interannuelle (par exemple 14,2 °C à Bordeaux-Mérignac, 11,8 °C à Limoges-Bellegarde, et 12,2 °C à Poitiers-Biard selon les fiches climatologiques Météo France).

La géothermie de surface vise à exploiter ces capacités naturelles de régulation thermique du sous-sol, à des profondeurs accessibles, généralement inférieures à 200-300 m, et en visant par conséquent des températures constantes inférieures à 25 °C. Plusieurs opportunités d'exploitation se présentent pour ces ressources :

- la valorisation via une Pompe à Chaleur (PAC) géothermique, avec des performances maîtrisées et constantes ; par opposition, les PAC aérothermiques, qui puisent l'énergie dans l'air ambiant, voient leurs rendements décroître lorsqu'elles sont le plus sollicitées (typiquement lorsque les températures sont négatives, les performances en chauffage sont fortement dégradées) ;
- la valorisation en usage direct pour du rafraîchissement passif.

D'une manière générale, l'exploitation de la ressource géothermique passe par l'utilisation de l'énergie stockée soit dans la roche du sous-sol (exploitation en boucle fermée) ou stockée dans l'eau circulant dans les aquifères (exploitation en boucle ouverte).

- Les systèmes d'exploitation en boucle fermée : le dispositif consiste à faire circuler dans une boucle un fluide caloporteur utilisé comme vecteur énergétique, sans échange direct avec l'extérieur. Ce fluide, par échange thermique conductif avec l'extérieur, assure le transport de chaleur/fraîcheur depuis le sous-sol jusqu'à la surface terrestre pour sa valorisation. Une fois refroidi/réchauffé, il recircule dans le sous-sol où il se réchauffe/refroidit de nouveau, et ainsi de suite. Ces systèmes présentent l'avantage d'un dimensionnement des installations en sous-sol en fonction du besoin : c'est le cas par exemple des champs de sondes géothermiques verticales.

- Les systèmes d'exploitation en boucle ouverte : la cible valorisée est cette fois-ci l'eau d'une nappe souterraine, directement utilisée comme vecteur énergétique. Le dispositif est constitué au minimum par un puits de pompage et un puits de réinjection. L'eau prélevée par le puits de pompage est valorisée thermiquement, puis, une fois refroidie/réchauffée, est intégralement réinjectée dans le même aquifère par le puits de réinjection.

Les filières géothermiques disposent d'atouts qui leur donnent toute leur place dans le mix énergétique français en général, et néo-aquitain plus particulièrement :

- Une énergie renouvelable : selon le type de filière géothermique, l'énergie utilisée provient du flux géothermique profond ou du rayonnement solaire ayant pénétré la surface du sol. Dans les deux cas, cette énergie est renouvelable si elle est gérée de manière équilibrée ;
- Une énergie non intermittente : l'énergie géothermique n'est pas inféodée aux conditions météorologiques. Elle constitue une énergie dont l'exploitation est aisément planifiable, et peut constituer un apport stable dans le mix énergétique ;

• **Un impact environnemental faible** : l'énergie géothermique est en grande partie décarbonée. À ce titre, elle n'émet que très peu de GES. Par exemple, la géothermie de surface émet jusqu'à 11,9 fois moins de CO₂ qu'une chaudière à gaz classique et 18,2 fois moins qu'une chaudière à fioul standard [68]. En outre, l'intégration visuelle aisée des installations favorise l'acceptation sociale des projets ;

• **Une facture énergétique limitée** : la singularité des filières géothermiques est un modèle économique reposant sur un investissement plus important que d'autres solutions, mais des coûts de fonctionnement mieux maîtrisés car décorrélés de la volatilité du prix des énergies traditionnelles (notamment combustibles fossiles). On estime que les investissements pour les solutions chauffage sont amortis sur une période de 10 à 20 ans (AFPG) par rapport à une solution gaz équivalente. Dans le cas du couplage à une Pompe à Chaleur (PAC), la consommation électrique est de l'ordre de 20 % de

l'énergie totale fournie (le reste étant tiré du sous-sol), ce qui limite très fortement la dépendance du système au coût de l'électricité ;

• **Une adéquation locale demande/ressource** : l'énergie est puisée en sous-sol perpendiculairement aux installations géothermiques, et n'implique pas de contraintes logistiques d'approvisionnement. Son développement peut devenir un levier pour le tissu socio-économique local, en favorisant l'émergence d'entreprises et de services créateurs d'emplois dans les territoires où elle est implémentée ;

• **Une opportunité de produire du froid renouvelable** : les ressources géothermiques de surface, du fait des températures puisées, offrent la possibilité de produire du froid, avec même l'opportunité unique de produire du rafraîchissement passif, sans utilisation de PAC, et par conséquent avec des consommations énergétiques quasi-nulles.

4.2

RESSOURCES GÉOTHERMIQUES SUR LE TERRITOIRE

Le Bassin aquitain occupe la majeure partie des anciennes régions Aquitaine et Poitou-Charentes. Il s'agit d'un empilement de couches sédimentaires, dont certaines renferment des nappes d'eau souterraine de grande extension, qui constituent autant de ressources susceptibles d'être exploitées par géothermie de surface ou profonde, en boucle ouverte, et pour de fortes puissances produites. Alternativement, l'implantation de systèmes en boucle fermée reste possible dans ces formations du Bassin aquitain, dont les propriétés thermiques peuvent être généralement favorables.

Il est bordé à l'est par le Massif Central, et au nord par le Massif Armoricaïn (forte dominance de formations cristallines). Sur ces secteurs, la faible disponibilité des ressources en eaux souterraines oriente généralement vers l'utilisation de sondes géothermiques verticales. D'autant plus que les propriétés thermiques des formations considérées sont généralement très favorables.

Au sud de la région, le secteur des Pyrénées est principalement couvert par des terrains intensément plissés, qui ne contiennent pas de nappe de grande extension : les opportunités en boucle ouverte seront restreintes à des secteurs localisés, mais l'implantation de systèmes en boucle fermée reste possible partout.

Il en résulte le constat que l'intégralité du territoire est couverte par des ressources géothermiques exploitables, et que les opportunités pour la filière sont nombreuses. C'est notamment étayé par les atlas des ressources établis par le BRGM [69][70][71].



Figure 12 : Carte des installations de géothermie profonde (source : AREC)

4.2.1 INSTALLATIONS ET PRODUCTION ACTUELLES

L'ex-Aquitaine est une des premières régions où s'est développée la géothermie profonde en France, notamment à la suite des premiers chocs pétroliers de 1973 et 1979. En raison de ses aquifères profonds de bassin sédimentaire, c'est la seconde région en termes de puissance thermique installée après l'Île-de-France.

INSTALLATIONS DE GÉOTHERMIE PROFONDE

Concernant la géothermie profonde, les inventaires disponibles recensent 14 installations [72] : 7 en Gironde, 5 dans les Landes, et 2 en Charente-Maritime (Figure 12). La production totale de ces dispositifs est pour l'année 2018 de 130 GWh à 140 GWh. Ce recensement ne comprend pas le nouveau doublet géothermique profond foré en rive droite de Garonne à Bordeaux (projet Plaine de Garonne Énergies), dont la mise en service devrait être effective en 2022-2023, pour desservir en chaleur près de 28 000 logements à terme.

De manière plus détaillée, les installations de géothermie profonde concernent principalement la fourniture de chaleur pour des ensembles de bâtiments. Ainsi, pour Bordeaux Métropole, on peut citer :

- Le quartier Mériadeck desservi par un réseau de chaleur alimenté par un puits de 1149 m de profondeur exploitant une eau à 49 °C. Des bâtiments administratifs du quartier, le Centre Commercial ou encore les vestiaires de la piscine Judaique sont bénéficiaires de ce réseau ;
- Le quartier de logements collectifs de Pessac-Saige ;
- La Base Aérienne 106 de Mérignac.

D'autres collectivités sont également concernées par ce type de dispositif :

- Mont-de-Marsan qui assure entre autres le chauffage et l'eau chaude sanitaire pour 180 logements, une crèche, deux écoles, une maison de santé et une salle polyvalente par un forage géothermal exploitant une eau à 60 °C ;
- Jonzac, dont le centre aqualudique « Les Antilles » et l'établissement thermal sont chauffés par géothermie, avec de l'eau à 60 °C, captée vers 1900 m de profondeur ;
- Saint-Paul-lès-Dax, qui chauffe plusieurs bâtiments municipaux (piscine, serres, etc.) avec une eau à 55 °C, captée vers 1700 m de profondeur.

La plupart de ces installations a été mise en service dans les années 1980, et a toujours une production énergétique intéressante. Elles souffrent pourtant d'un déficit d'identification et de reconnaissance comme opérations exemplaires.

INSTALLATIONS DE GÉOTHERMIE DE SURFACE

Concernant la géothermie de surface, le recensement le plus exhaustif à l'heure actuelle est issu des travaux de l'AFPG et du BRGM à l'échelle nationale [73]. Il est possible toutefois que certaines installations existantes, notamment antérieures aux évolutions réglementaires relatives à la géothermie de minime importance, ne figurent pas dans ce recensement car non déclarées.

Quoi qu'il en soit, la répartition des installations en France métropolitaine met en exergue en premier lieu la maturité de la filière au plan national (avec 28 500 installations recensées ! - Figure 13), et en second lieu le déficit de la région Nouvelle-Aquitaine, dont la densité d'installations existantes est très inférieure à la plupart des autres régions (Figure 14). Leur répartition est fournie dans le Tableau 1.

Figure 14 : distribution des installations de géothermie de surface recensées en Nouvelle-Aquitaine (données de l'observatoire dynamique de la géothermie de surface BRGM-ADEME-AFPG)

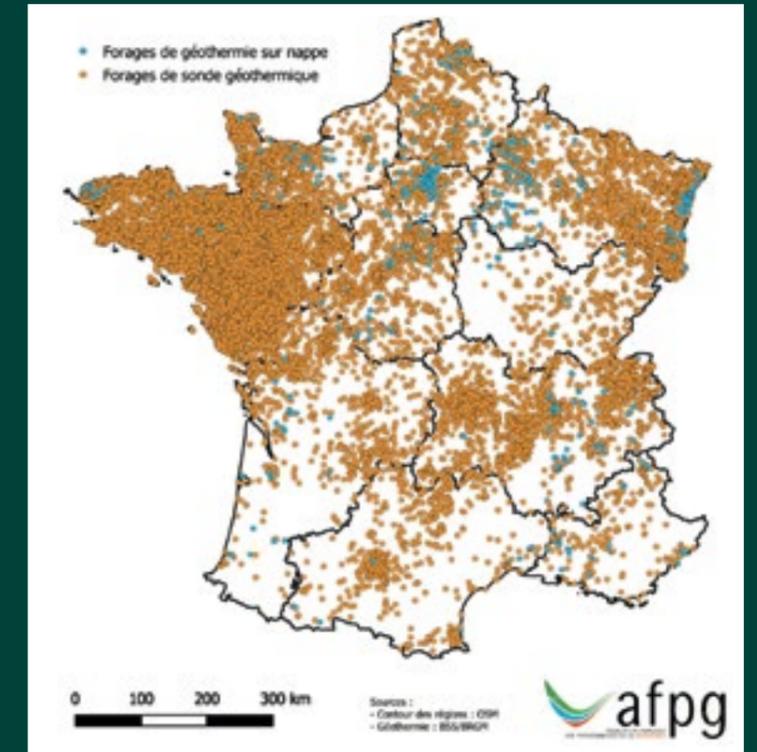
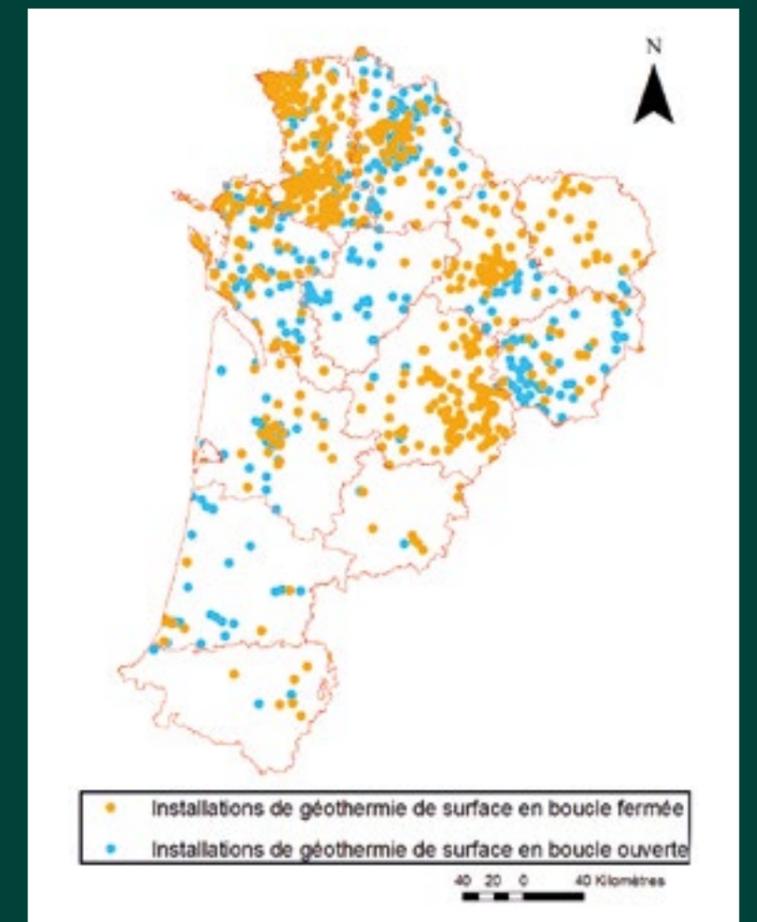


Figure 13 : distribution des installations de géothermie de surface recensées en France (AFPG, 2021)



	Installations en boucle ouverte («sur nappe»)	Ouvrages en boucle ouverte («sur nappe»)	Installations en boucle ouverte («sur sondes»)	Ouvrages en boucle ouverte («sur sondes»)
Ex-Aquitaine	53	71	101	107
Ex-Poitou-Charentes	8	9	135	128
Ex-Limousin	205	277	292	494

Tableau 1 : répartition des installations de géothermie de surface ((73)Baudouin et al., 2022)

En l'état actuel, la production d'énergie issue de la géothermie s'élève à 200 GWh sur la région Nouvelle-Aquitaine, dont moins de 30 GWh pour la géothermie de surface. La répartition de cette production par filière est montrée dans le **Tableau 2**. L'évolution de la filière par département est montré dans la **Figure 15**.

L'information principale à tirer des recensements existants est la forte diversité des usages couverts par de la géothermie de surface en Nouvelle-Aquitaine :

- bâtiments tertiaires (chauffage et rafraîchissement) ;
- établissements de santé, établissements pour personnes âgées et petite enfance (chauffage et rafraîchissement) ;
- piscines et centres aquatiques (chauffage des bassins et traitement de l'air) ;
- viticulture (régulations de températures de chais, cuves, stocks) ;
- logements individuels et collectifs (chauffage, parfois rafraîchissement).

Certains dynamiques sont en outre exemplaires :

- la mutualisation *via* un réseau géothermique alimenté par un seul doublet de forages, pour couvrir les besoins du centre de congrès, d'un EHPAD, du casino et d'un hôtel à Jonzac (17) ;
- l'opération de substitution massive du gaz naturel engagée sur les lycées existants de la Région Nouvelle-Aquitaine, lancée en 2007 pour atteindre les engagements de réduction drastiques des émissions de CO₂ ; à ce jour, 19 lycées ont fait l'objet d'une substitution par géothermie et récupération de chaleur, pour un rejet évité de 6 500 tonnes de CO₂ par an et des économies annuelles de l'ordre d'un million d'euros.

Filière		Production d'énergie en 2020 (GWh)
Géothermie profonde		123
PAC géothermiques	Sur aquifère	24
	Récupération calories	47
	Sondes Géothermiques Verticales	5

Tableau 2 : Détail de la production d'énergie issue de la géothermie par filière en 2020 (source : AREC).

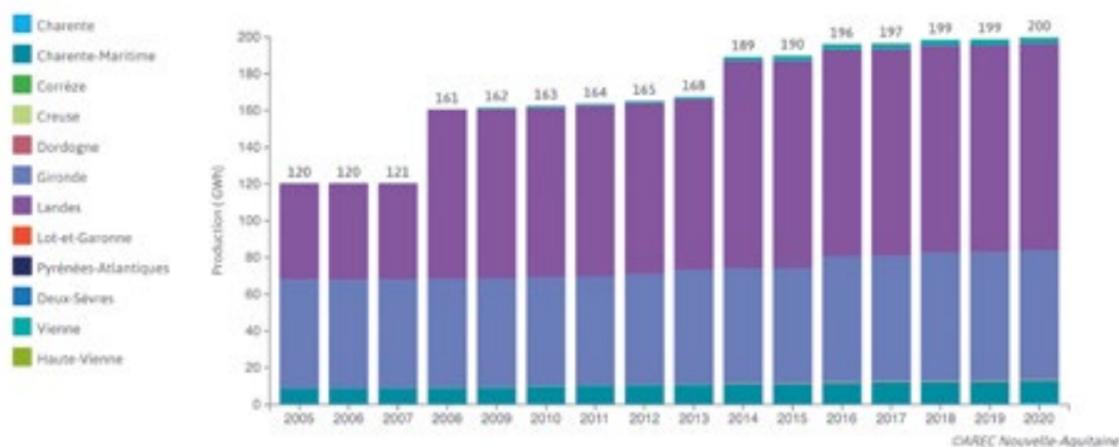


Figure 15 : Evolution de la production d'énergie issue de la géothermie de 2005 à 2020 (source : AREC)

4.2.2 UNE FILIÈRE STRUCTURANTE

La géothermie est une ressource énergétique qui s'inscrit pleinement dans le développement des solutions à empreinte carbone faible et à faibles émissions de GES. Le développement et le déploiement de ces solutions nécessitent toutefois des savoir-faire particuliers. Ces compétences balayaient un large spectre, depuis la recherche sur l'étude des gîtes géologiques et géothermiques, la R&D pour des solutions techniques innovantes jusqu'aux techniques de réalisation dans les règles de l'art pour les ouvrages d'exploitation.

La réglementation en vigueur sur la géothermie de surface («de minime importance») impose que les forages soient réalisés par une entreprise qualifiée. En juin 2022, seulement 9 entreprises de forage qualifiées¹ sont recensées sur l'ensemble de la région Nouvelle-Aquitaine, dont 8 disposent de la qualification pour la réalisation de forages géothermiques en boucle ouverte («sur nappe») et 4 pour les forages en boucle fermée («sur sondes»). Compte tenu de la taille de la région, cette faible disponibilité des entrepreneurs peut être un frein au déploiement de la filière, notamment pour les sondes géothermiques verticales.

D'autre part, concernant les prescripteurs en géothermie de surface. L'organisme de Qualification de l'Ingénierie² recense 22 bureaux d'études disposant de la qualification pour l'ingénierie sous-sol (code 1007 - Étude des ressources géothermiques) et 24 bureaux d'études pour l'ingénierie des installations de surface (code 2013 - Ingénierie des installations de production utilisant l'énergie géothermique).

Compte tenu des compétences techniques et des géoresources disponibles sur le territoire, la Nouvelle-Aquitaine pourrait clairement profiter d'une dynamique de structuration afin de prétendre à devenir une référence pour la géothermie de surface, comme le Bassin Parisien constitue une référence pour la géothermie profonde.

Pour la géothermie profonde, le marché des forages passe par des appels d'offres nationaux ou européens. La nécessité de disposer d'entrepreneurs locaux est par conséquent moins prégnante. Toutefois, cet axe pourrait être une piste d'évolution pour des entreprises déjà implantées localement. Il est à noter que l'agglomération de Pau est positionnée comme un pôle de référence pour les filières du sous-sol. Avec 5 000 emplois direct, 50 entreprises internationales, 10 laboratoires de recherche, 5 centres de formation, un pôle de compétitivité, le pôle Avenia et le centre de recherche de Total Énergies, l'agglomération profite d'un paysage hérité de l'extraction d'hydrocarbures dans le secteur et se positionne comme un vivier incontournable sur les marchés de la géothermie profonde.

4.3 LES VERROUS

Comme toute filière en développement, la géothermie doit relever certains défis technologiques et sociétaux pour véritablement compter dans les alternatives aux énergies carbonées. Certains de ces verrous peuvent être « facilement » levés, en s'appuyant sur une politique volontariste et moyennant l'abandon de certaines idées datées concernant les solutions géothermiques.

Parmi les verrous, nous pouvons notamment citer :

- **Une adéquation spatiale demande/production** : ce verrou concerne principalement la géothermie profonde, qui im-

pose une bonne adéquation entre la présence d'un gisement en eau chaude profonde, et celle d'une forte densité de besoins énergétiques ; ce verrou disparaît lorsqu'on considère des solutions géothermiques de surface, compte tenu de la versatilité des solutions techniques, permettant une implantation locale, à proximité de la consommation directe.

- **Un investissement important** : l'exploitation d'une ressource géothermique nécessite, quelle que soit la solution retenue, un investissement de départ important (déploiement de sondes verticales/horizontales, forages de puits, adaptation des réseaux, achat de pompe à chaleur...). Toutefois, pour la production de chaleur, la solution géothermique est économiquement avantageuse sur le long terme, comparée par exemple à une solution « gaz ». La géothermie devient notamment plus compétitive qu'une solution fossile pour un particulier entre 5 et 10 ans, à partir de 9 ans dans le cas d'une habitation collective et entre 9 et 13 ans pour un bâtiment tertiaire [68] ; cette évaluation ne tenant pas compte bien sûr de l'envolée des prix du gaz en 2022.

- **L'acceptation sociétale** : des nuisances et impacts environnementaux localisés peuvent émaner des phases de prospection ou de travaux, lors des réalisations de forages, mais sur des périodes restreintes ; à cela peuvent s'ajouter la méfiance des populations associée à la méconnaissance du sous-sol et des risques liés. En phase d'exploitation, l'impact environnemental, notamment visuel et sonore, est très faible. En revanche, certains projets de géothermie électrogène très profonde ont suscité un rejet des populations, du fait de phénomènes de sismicité induite très spécifiques à cette filière, mais cela peut avoir pour conséquence d'affecter de manière plus large l'image des filières géothermiques dans leur ensemble.

- **Un déficit de visibilité et de reconnaissance** : les filières géothermiques souffrent, paradoxalement, de la discrétion de leurs installations ; c'est ainsi que les installations géothermiques historiques de la Nouvelle-Aquitaine, fonctionnelles depuis 40 ans sans incident majeur, restent méconnues de ses habitants. De cela découle une familiarité insuffisante des décideurs et des prescripteurs du bâtiment avec ces filières.

- **La prise en compte de la composante sous-sol** : risques géologiques et incertitudes sont autant de paramètres spécifiques à l'exploration et à l'exploitation du sous-sol, quelle que soit la profondeur ; la concrétisation opérationnelle d'un projet de géothermie doit par conséquent intégrer au plus tôt des compétences métier spécifiques au sous-sol, en bonne interaction avec les métiers « de surface ».

D'autre part, il est important de préciser que, même si à l'échelle géologique, le stock d'énergie géothermique peut être considéré comme « infini », à l'échelle humaine et à l'échelle locale, le stock doit être géré comme une ressource finie, en prenant en compte les taux de renouvellement géothermiques confrontés à la quantité d'énergie prélevée. Dans le cas de plusieurs installations connexes sur un même secteur, les impacts relatifs entre ces dispositifs d'exploitation d'une même ressource doivent être considérés, puisque les impacts thermiques (panache chaud, panache froid, etc.) se superposent sur un site donné. Dès lors, il est nécessaire de procéder à une gestion raisonnée et intégrative de cette ressource thermique.

Globalement, ces verrous ne sont pas fondamentalement problématiques et la filière géothermique présente une balance positive à l'examen des avantages/inconvénients.

1. <https://www.qualit-enr.org/annuaire/>
2. OPQIBI - <https://www.opqibi.com/>

4.4

LA GÉOTHERMIE EN NOUVELLE-AQUITAINE, UNE RESSOURCE EN DEVENIR

La filière géothermique en Nouvelle-Aquitaine, qu'il s'agisse de géothermie de surface ou de géothermie profonde, présente plusieurs installations exemplaires. Toutefois, elle reste encore le parent pauvre des énergies renouvelables. La valorisation de cette ressource nécessite de renforcer la dynamique de développement, comme le résume Lionel Poitevin, Directeur régional de l'ADEME Nouvelle-Aquitaine [74] : « Le potentiel de développement de la géothermie dans notre région est très important. Il existe déjà de très belles installations qui obtiennent des résultats tout à fait intéressants. Le moment est venu de passer à la vitesse supérieure et de stimuler l'intérêt des maîtres d'ouvrage pour cette énergie renouvelable et locale si nous voulons atteindre l'objectif national de neutralité carbone à l'horizon 2050 ».

Parmi les clés de développement nationales de la filière proposées par l'ADEME [75], et sans être exhaustifs, on peut retenir et détailler les éléments suivants, particulièrement adaptés à la région Nouvelle-Aquitaine. Ces axes de développement doivent être considérés, certains relevant d'une dynamique nationale, d'autres étant plus adaptés aux spécificités régionales. À part certains items réservés à une typologie d'exploitation, ces pistes de développement sont adaptables à tous les types de géothermie.

RENFORCER LA DYNAMIQUE D'INFORMATION

Il est primordial de maintenir et développer l'information sur la filière géothermique dans la région. Via l'ADEME, la mise en place d'animateurs régionaux dédiés à cette tâche a été un progrès notable qu'il faut pérenniser sur le long terme. La mise à disposition d'un portail thématique¹ permet à des acteurs variés de disposer d'une information adaptée et locale facilitant l'émergence et la valorisation des projets géothermiques.

Toutefois, les actions doivent aller de manière proactive vers une meilleure acculturation des décideurs et des prescripteurs sur le panel des solutions offertes par les filières géothermiques, sur les opérations exemplaires dans la région, ainsi que vers un porté à connaissance plus efficient sur les ressources présentes en sous-sol. Au regard des défauts actuels de structuration de la filière dans la région, cette acculturation doit également être portée par un accompagnement des porteurs de projets, pour assurer leur bonne conduite jusqu'à la concrétisation.

RÉDUIRE LES RISQUES EXPLORATOIRES SUR LES PROJETS PROFONDS

La mise en œuvre d'installations de géothermie profonde passe par un processus qui peut être long, guidé par le « risque géologique » : la filière vise des ressources profondes, dont la géométrie ou la capacité de production ne sont pas forcément bien connues au départ ; il est par conséquent impératif de commencer par un programme exploratoire *ad hoc* pour limiter les risques d'échec (risques de ne pas trouver la ressource escomptée) lors de la réalisation des forages, qui ne sera que la concrétisation finale. Dans les secteurs exempts d'installation géothermique profonde, ce « risque géologique » lié aux incertitudes est susceptible de bloquer les porteurs de projet isolés : seul un programme exploratoire partagé collectivement peut déverrouiller des

projets concrets. Le Bassin aquitain bénéficie pourtant d'un long historique d'exploration pétrolière, c'est pourquoi le BRGM a identifié en 2020 [76] plusieurs pistes pour conduire un programme d'exploration destiné à mitiger ces risques à l'échelle de la région :

- Retraitement d'acquisitions géophysiques anciennes (lignes sismiques) par des techniques modernes sur des secteur-cibles autour d'agglomérations. Ces techniques peuvent en effet fournir :
 - une meilleure visualisation des géométries des réservoirs par rapport aux traitements historiques ;
 - un aperçu des propriétés des réservoirs, et par conséquent de leur capacité à couvrir les besoins énergétiques identifiés.
- Campagnes d'acquisitions sismiques complémentaires pour couvrir les zones non couvertes par les campagnes anciennes, principalement au nord et nord-est de la Garonne

Depuis 2005, la mise en place du Fonds Chaleur et du Fonds de Garantie sur la géothermie a permis la relance de la géothermie profonde, avec la concrétisation d'une trentaine d'opérations à l'échelle nationale, mais majoritairement centrées sur le Bassin parisien. Il est nécessaire que la Nouvelle-Aquitaine puisse profiter de cette dynamique, et cela passe en premier lieu par la relance de l'exploration pour identifier les ressources et les secteurs favorables.

VALORISER LES CAPACITÉS DE STOCKAGE DU SOUS-SOL

La géothermie englobe également l'ensemble des techniques permettant de tirer profit des capacités de stockage d'énergie thermique dans le milieu souterrain, qui sont insuffisamment mises en avant. Le stockage d'énergie est pour tant un enjeu majeur de la transition énergétique.

En premier lieu, le stockage inter-saisonnier d'énergie permet d'accroître les performances des systèmes géothermiques de surface, typiquement en stockant en été le surplus de chaleur pour le restituer en hiver. À ce titre, le démonstrateur de stockage de chaleur inter-saisonnier en aquifère (ATES) permettant le chauffage/rafraîchissement de l'école d'ingénieur ENSEGID à Pessac (33) fournit une vitrine de ce potentiel de stockage. Il est important de signaler également que cette injection dans le sous-sol, et pas dans l'air ambiant, de la chaleur produite par les dispositifs de rafraîchissement évite l'effet d'emballlement des îlots de chaleur urbains.

D'autre part, cet atout du sous-sol offre de multiples opportunités de couplage avec d'autres énergies renouvelables, pour réduire notamment les problèmes d'intermittence des EnR qui dépendent des conditions météorologiques. La Centrale solaire sur stockage d'énergie souterrain mise en œuvre par AbSolar à Cadaujac (33), est exemplaire : le projet vise à assurer l'intégralité des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire de 67 logements, en couplant la production solaire thermique et le stockage souterrain par champ de sondes géothermiques.

CONCLUSION

En conclusion, du fait de la richesse singulière de son sous-sol, la Nouvelle-Aquitaine bénéficie de ressources géothermiques multiples qui sont autant d'opportunités d'accroître son autonomie énergétique et la décarbonation de son mix énergétique. Pourtant, la densité d'installations dans la région est significativement en-deçà de celle observée sur le reste du territoire métropolitain. De plus, la discrétion des installations fonctionnant en Nouvelle-Aquitaine depuis plusieurs dizaines d'années joue, de manière paradoxale, en défaveur des filières géothermiques : invisibles et sans dysfonctionnement, ces installations géothermiques sont méconnues du grand public.

Les technologies disponibles sont pourtant matures et diversifiées : solutions de géothermie profonde susceptibles de couvrir les besoins en chauffage et eau chaude de quartiers entiers, solutions de géothermie de surface adaptées à la régulation thermique de tous types de bâtiments ou process, solutions de stockage d'énergie thermique en sous-sol, etc. Malgré des investissements initiaux souvent conséquents, les performances de ces solutions leur confèrent une pertinence économique qui est bien documentée.

La mise à contribution de cette énergie accessible en continu « sous nos pieds » à hauteur de son potentiel régional passera par la mise en place d'actions volontaristes : acculturation des acteurs du bâtiment et des décideurs, mise en avant d'opérations exemplaires, structuration de la filière, montée en compétence des prescripteurs, diffusion des connaissances sur les ressources et leurs contraintes, exploration des ressources profondes. La région bénéficie en outre de compétences scientifiques et techniques en mesure de faire émerger une filière d'excellence sur les géothermies, car les pistes de recherche et développement sont nombreuses et le territoire fournit un terrain d'expérimentation unique.



Plusieurs gisements d'hydrocarbures ont été, ou sont, exploités dans le Bassin aquitain. Le patrimoine que constituent les forages réalisés anciennement pour l'exploration puis l'exploitation de ces hydrocarbures mérite d'être étudié, car il peut permettre de réduire les coûts d'accès aux ressources profondes. Le potentiel de reconversion de ces forages vers un usage géothermique a été étudié sur le plan national [72][77], et plusieurs opportunités potentielles ont été mises en évidence en Nouvelle-Aquitaine. Il serait pertinent de poursuivre les investigations pour préciser la faisabilité technico-économique sur les sites considérés, et faire émerger au moins un démonstrateur.

La valorisation des eaux de co-production sur les gisements d'hydrocarbures peut être une alternative : c'est le cas du quartier « Eco-neighborhood – Les Portes du Pyla » à la Teste-de-Buch (33), qui bénéficie de la valorisation des eaux chaudes extraites par Vermilion pour l'exploitation pétrolière. Mais dans un contexte de réduction de l'exploitation des ressources fossiles, la pérennité de ce type de solution peut être remise en question car son équilibre économique dépend exclusivement de l'extraction des hydrocarbures.

DÉVELOPPER DE NOUVEAUX SEGMENTS DE MARCHÉ

Certaines techniques déployées en géothermie de surface dans d'autres pays restent peu présentes en Nouvelle-Aquitaine. Les initiatives associées doivent bénéficier d'un retour d'expérience et d'une publicité permettant le cas échéant d'être étendues à d'autres sites favorables. On peut mentionner de manière non exhaustive :

- Pieux thermiques actifs. Ce dispositif intégré aux fondations d'un nouveau bâtiment a été déployé pour une pépinière d'entreprises à Bayonne (64).
- Corbeille géothermique [78] : cette solution est adaptée aux besoins du particulier ainsi qu'aux bâtiments de taille moyenne (< 500 m²) construits récemment ou bien rénovés.

Concernant la géothermie profonde, des pistes visant à coupler la géothermie avec d'autres usages peuvent constituer des leviers pour assurer l'équilibre économique des projets, et constituent en l'état actuel des pistes de recherche : le stockage de CO₂ dans les réservoirs géothermiques, la production d'éléments stratégiques (lithium typiquement).

Enfin, plusieurs permis d'exploration pour la géothermie haute température, à but de production d'électricité, ont été déposés sur le Massif-Central, dont certains bordent l'est de la Nouvelle-Aquitaine. De multiples investigations doivent être conduites pour évaluer la pertinence d'éventuelles concrétisations.



Dispositif géothermique ATEs de l'école ENSEGID à Pessac © Yohana CABARET

1. <https://www.geothermies.fr/regions/nouvelle-aquitaine>

5

Les bioénergies

Rédacteurs : Benoît de Guillebon

Contributeurs : Jean-Baptiste Beigbeder, Antoine Bouzin, Rafaël Bunaes

5.1

INTRODUCTION

En simplifiant un peu, la biomasse est un mélange de carbone - C et d'hydrogène - H (avec quelques éléments secondaires comme l'azote - N, le phosphore - P, le potassium K et des éléments traces).

Même si la concentration volumique d'énergie est moindre ; il est possible d'obtenir les mêmes effets avec la biomasse qu'avec les combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel). Elle peut être brûlée en présence d'oxygène pour dégager de la chaleur transformable en énergie mécanique ou électrique. Elle peut réagir également en absence d'oxygène, soit à la chaleur (pyrolyse) soit en présence de bactéries (méthanisation) pour fabriquer un gaz identique au gaz naturel issu du sol. Il est également possible de la transformer par des procédés biologiques pour faire de l'éthanol ou du diester utilisables comme carburants par les moteurs à combustion.

Par rapport aux combustibles fossiles (qui sont de la biomasse transformée dans le sous-sol dans un processus qui a pris des millions d'années), la biomasse terrestre présente l'avantage énorme de se régénérer rapidement : quand la biomasse brûle, le CO₂ dégagé est absorbé par d'autres biomasses en cours de croissance. À condition d'une gestion raisonnée de la biomasse – pas en cas de déforestation massive -, il n'y a théoriquement pas de production nette de CO₂. Les combustibles fossiles brûlés sont eux émetteurs nets de CO₂.

Enfin, il est important de signaler que les bioénergies sont des énergies dérivées de l'énergie solaire par l'intermédiaire de la photosynthèse des plantes.

La région Nouvelle-Aquitaine est une des premières régions de France pour l'importance de sa ressource en biomasse, tant en surface forestière qu'en potentiel de croissance végétale : les bioénergies vont donc avoir un rôle important dans la transition énergétique du territoire.

En 2020, la production d'énergie à partir de biomasse a atteint 24 783 GWh en Nouvelle-Aquitaine, contre 19 498 GWh en 2005, manifestant ainsi le développement de la filière dans la dernière décennie (Figure 16). Cette production se répartissait ainsi :

- 23 242 GWh sous forme de chaleur (bois énergie des ménages, chaufferies industrielles, agricoles ou collectives) ;
- 1 298 GWh sous forme d'électricité ;
- 243 GWh de biométhane injecté dans le réseau de gaz.

Cette production représente 60 % de la production d'énergies renouvelables dans la région, avec pour l'instant une écrasante majorité liée au bois énergie et une très faible production de biogaz.

Cette répartition est amenée à changer fortement dans les années à venir, comme l'illustrent les chiffres objectifs formulés par le SRADDET (Tableau 3) :

Tableau 3 : Production d'énergie à partir de biomasse et les objectifs du SRADDET (source AREC)

Filière	Production annuelle (GWh)			
	2005	2020	Obj. SRADDET 2030	Obj. SRADDET 2050
Bois énergie des ménages	11 874	10 568	9 000	8 000
Biomasse thermique (hors bois particulier, biogaz et déchets urbains)	7 086	12 561	13 500	10 000
Biogaz (cogénération et usage direct)	38	351	1 000	5 000
Biogaz (injection)	0	243	6 000	22 000

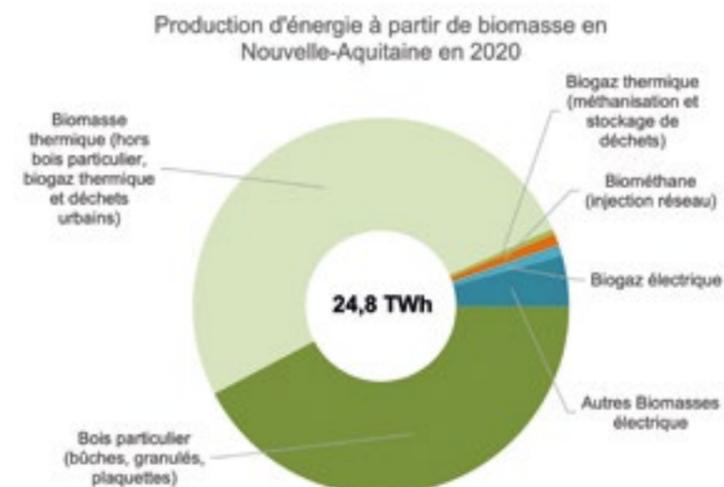


Figure 16 : Production d'énergie à partir de biomasse en Nouvelle-Aquitaine en 2020 (source AREC)

Le SRADDET prévoit ainsi que la réduction de la consommation énergétique des bâtiments doit conduire à une décroissance des productions d'énergie issues du bois, alors que la production d'énergie issue du biogaz devrait connaître une croissance exponentielle.

Les développements suivants vont donc s'intéresser au bois énergie puis au biogaz, avant d'aborder une bioénergie émergente à travers les micro-algues.

5.2

LE BOIS ÉNERGIE, UNE DES PREMIÈRES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Le bois énergie se répartit à peu près par moitié entre chauffage au bois par les ménages et des installations thermiques collectives et industrielles.

Le SRADDET, qui se base sur l'hypothèse d'une réduction de 30 % de la consommation d'énergie en 2030 et de 50 % en 2050, fait l'hypothèse d'une réduction de la consommation des ménages en bois énergie à partir de 2020, et des installations collectives et industrielles à compter de 2030.

Il n'en reste pas moins que le bois énergie restera un élément très significatif (40 % prévu dans le SRADDET) de la production d'EnR à l'horizon 2050. Il est également possible que la décroissance annoncée du bois utilisé par les particuliers soit plus lente que prévue. En effet, dans un contexte d'envolée des prix du gaz naturel d'une part, et d'interdiction prochaine des chaudières fioul, on peut constater aujourd'hui un engouement pour les chaudières au bois : les ventes de ce type de chaudière ont doublé en 2021. Et les récentes annonces du gouvernement sur les aides aux particuliers pour remplacer les chauffages individuels au fuel ou au gaz risquent de prolonger la tendance.

Le bois utilisé pour le bois énergie se présente sous plusieurs formes : le bois bûche qui ne demande que très peu de transformation, les copeaux de bois utilisés dans les chaudières

industrielles et les granulés de bois (pellets) composés de copeaux et de sciure de bois compactés. Cette dernière forme est privilégiée par les particuliers en raison de sa facilité de manipulation et l'automatisation de l'alimentation du poêle. Néanmoins, la contagion de la hausse des prix de l'énergie en 2022 n'a pas épargné les pellets, ce qui déconcerte les ménages qui ont substitué un poêle à pellets à leur ancienne chaudière à gaz. Cela pourrait freiner le mouvement de transfert, au moins à court terme.

Quand on compare les prix des différentes énergies, le bois énergie est bien placé. Selon les relevés de prix en mars 2022 [79], pour un kWh d'énergie de chauffage, on paiera 18 centimes pour du pétrole ou de l'électricité, 17 pour du fioul domestique, 8 pour du gaz naturel, 7 pour des granulés de bois et 4 pour du bois bûche. Cependant, ce prix n'inclut pas l'amortissement de l'investissement initial (chaudière ou poêle) qui peut être significatif selon la taille du logement.

Toutefois, il est indispensable d'encourager l'investissement dans des chaudières performantes d'abord pour tirer parti de tout le potentiel énergétique du bois (ce que ne fait pas une cheminée ouverte où seuls 20 % de l'énergie produite sert réellement à chauffer la pièce). De plus, c'est essentiel pour améliorer la qualité de l'air, notamment en milieu urbain. En effet, les émissions de chauffage au bois représentent pour le secteur résidentiel / tertiaire environ un tiers des émissions totales de particules (PM10), près de la moitié des émissions totales de particules fines (PM2,5), et les deux tiers des émissions totales d'hydrocarbures aromatiques polycycliques [80]. Cela tient essentiellement à la faible efficacité des équipements de combustion et à la médiocre qualité des combustibles (par exemple bois pas suffisamment sec).

Cette situation a conduit en juillet 2021 le Ministère de la transition écologique à publier un **plan d'action** qui vise à atteindre entre 2020 et 2030, une baisse de plus de 30 % des émissions annuelles de PM2,5 issues du chauffage au bois à l'échelle nationale - 50 % dans les territoires les plus pollués - en favorisant l'utilisation d'équipements performants et de combustibles de qualité [81].



5.3

LA MÉTHANISATION, UN ÉLÉMENT MAJEUR DU FUTUR DE L'AGRICULTURE

Déjà largement mise en œuvre chez certains de nos voisins européens, l'Allemagne et le Danemark en particulier, la méthanisation agricole a désormais intégré le spectre protéiforme des sources d'énergies renouvelable mobilisées sur le territoire national [82]. Ce dispositif technique apparaît en effet régulièrement mentionné dans les discours afférents à la transition énergétique, à la fois au sein des politiques publiques dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC), mais également dans les scénarii issus du milieu associatif investi sur les enjeux environnementaux, par exemple au sein des travaux de l'association négaWatt.

Si la méthanisation agricole peut apparaître parfois réduite à un procédé de production d'énergie renouvelable, elle constitue en réalité un dispositif complexe et transverse sur le plan technique et scientifique, comportant, en plus d'un aspect énergétique, une dimension agronomique forte [83]. Le procédé scientifique de méthanisation, ou *anaerobic digestion* dans la littérature anglo-saxonne, réside dans la dégradation anaérobie, c'est-à-dire dans un environnement dépourvu d'oxygène, de matière organique. Cette fermentation produit du biogaz qui peut être valorisé de diverses manières, notamment en cogénération sous forme de chaleur et d'électricité, ou bien en injection sous forme de gaz (Figure 17). La mé-

thanisation agricole a pour spécificité technique de mobiliser principalement des sources agricoles de matière organique, dont des effluents d'élevage (fumiers, lisiers, fientes) et des résidus de culture. L'analyse des sources de biomasse disponibles pour la méthanisation agricole montre qu'à plus de 90 %, elles proviennent de l'agriculture [84]. Toutefois, ces « intrants » peuvent également inclure des déchets issus des collectivités et des entreprises agro-alimentaires. Outre le biogaz, le procédé de méthanisation forme un co-produit appelé digestat contenant des éléments minéraux, de l'eau et une partie de la matière organique. Ce digestat est fréquemment utilisé dans les activités agricoles pour l'épandage en raison de ses propriétés fertilisantes et amendantes. La méthanisation agricole est ainsi souvent présentée comme un dispositif technique pertinent pour les perspectives de transition énergétique et agricole dans la mesure où il permet la production d'une énergie renouvelable et peut conduire à la réduction de la consommation d'engrais artificiels. Cela signifie cependant une évolution du métier d'agriculteur qui est loin d'être acquise, car elle repose sur une redéfinition du rôle des agriculteurs [85].

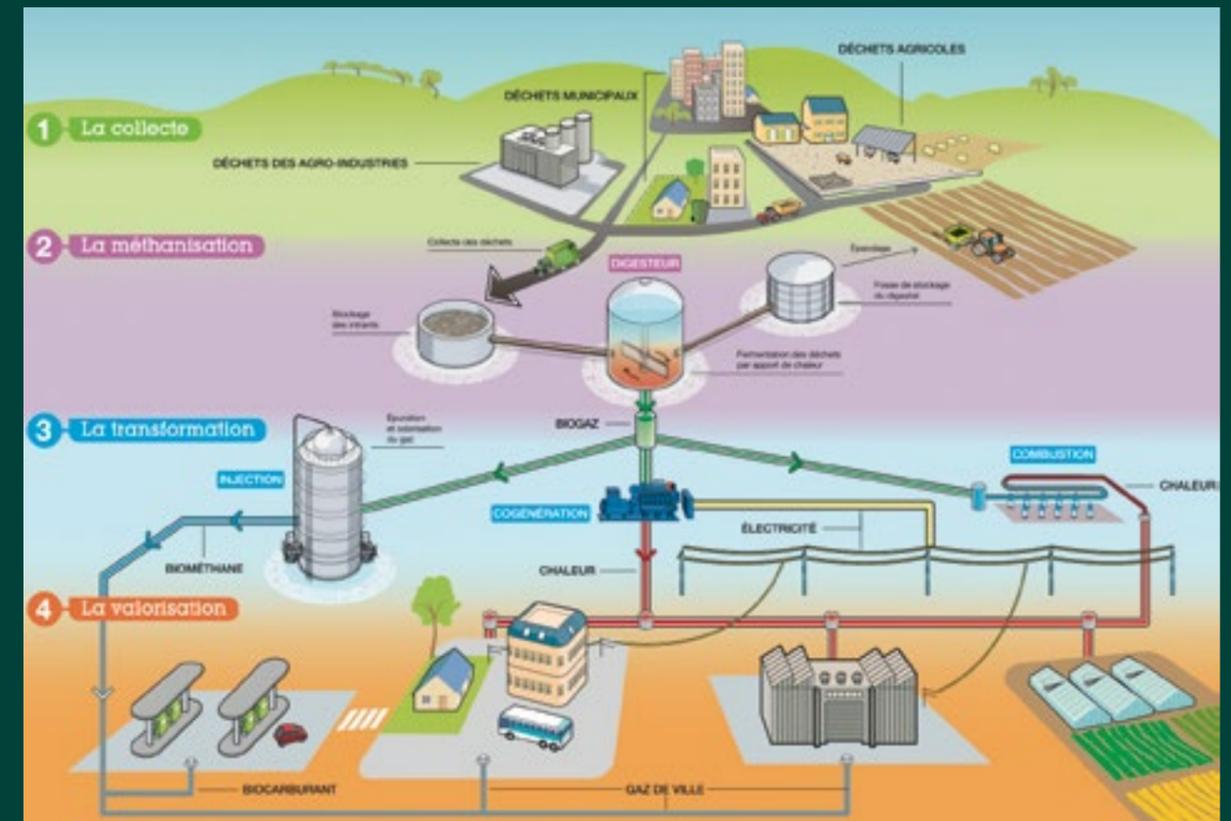


Figure 17 : Fonctionnement d'une unité de méthanisation (Le plan Energie Méthanisation Autonomie Azote, 2013) (86).



Toutefois, le développement territorial de la méthanisation agricole conduit également à l'émergence de nombreuses controverses à la fois scientifiques, techniques, environnementales, sociales et économiques, et suscite dès lors des mobilisations protestataires. Il existe en effet de nombreuses interrogations scientifiques à propos des fuites de méthane et des effets pédologiques du digestat. Sur le plan environnemental, les émissions en gaz à effet de serre provoquées par le transport routier des intrants et la consommation supplémentaire d'eau causée par l'irrigation des cultures intermédiaires, ces cultures semées entre deux cultures principales et destinées à la production énergétique, suscitent également des critiques. Les nuisances sonores et olfactives d'une part, la protection de l'aménité du paysage d'autre part, constituent aussi des objets de luttes pour les collectifs de riverains opposés aux projets de méthanisation [87][88]. Ce sont les projets de méthanisation collective qui sont principalement la cible de contestation à l'opposé des projets dits « à la ferme » qui ne concernent qu'une seule exploitation [89].

L'essor de la filière de production de biogaz semble ainsi nécessiter une appropriation par l'ensemble des parties prenantes et une meilleure prise en compte des inquiétudes des riverains. En effet, le procès récurrent d'une réaction NIMBY (« Not in my Back Yard » - Pas près de chez moi) ne résiste pas à l'analyse plus fine des argumentaires militants. Moins qu'une réaction égoïste et irrationnelle, les travaux sur l'acceptabilité sociale en général et sur l'acceptabilité de la méthanisation en particulier soulignent que l'opposition locale s'inscrit généralement dans un attachement aux lieux que de nouvelles nuisances viennent perturber. L'analyse des discours montre une association entre détérioration de la qualité

de vie et absence de compensation [88]. Bourdin et ses collègues suggèrent que les projets qui ont abouti témoignent de procédures de justice procédurale, avec l'organisation de concertation voire de visites de sites, et redistributive avec un principe de redistribution des externalités. C'est bien la négociation de nouveaux compromis sociaux entre intérêts divergents qu'il s'agit de développer [90]. Dans cette négociation, les collectivités locales ont un rôle central à occuper comme acteurs intermédiaires de cette territorialisation des projets [89][91]. À ce titre, les projets avec le plus de succès semblent poursuivre des dynamiques locales préexistantes et ne naissent pas *ex nihilo* [85].

L'acceptabilité sociale [92] ne se réduit pas toutefois à des problématiques locales, elle dépend aussi fortement de l'impulsion donnée par les pouvoirs publics et de la place accordée à la filière dans la transition énergétique.

Enfin, les projets de méthanisation font l'objet d'intenses débats au sein même des mondes agricoles. Le caractère intensif et industriel de certains projets, la redéfinition du métier pourtant orientée depuis la modernisation des années 1960 vers la production alimentaire, la concurrence désormais présente sur le marché des intrants, la concurrence entre des cultures destinées à l'alimentation ou à la production énergétique forment ainsi autant de points de tensions au sein de la profession [93].

5.4

LES MICRO-ALGUES, QUEL FUTUR ?

Les microalgues sont des microorganismes photosynthétiques capables de se développer rapidement en présence d'énergie lumineuse, d'eau, de nutriment et de CO₂. Lors de leur croissance, les microalgues peuvent accumuler de nombreuses molécules d'intérêt biologique telles que des lipides, des pigments, des sucres et des protéines. Une fois récoltée, la biomasse algale peut être valorisée en différents bioproduits ou bioénergies selon le type d'application souhaité. Par exemple, les sucres peuvent être utilisés pour produire du bioéthanol *via* la fermentation alcoolique [94] et les lipides peuvent être extraits et raffinés pour produire du biodiesel [95].

Par rapport à la biomasse terrestre, les microalgues présentent des spécificités intéressantes, avec notamment des taux de croissance et de production d'huile par hectare élevés, allant jusqu'à plus de 100 fois celui de plantes comme le maïs [96]. La biomasse algale peut être utilisée pour produire plusieurs autres types de carburants, incluant l'hydrogène et le méthane [97]. De plus, les microalgues peuvent naturellement fixer le CO₂ par photosynthèse, ce qui en font un candidat idéal pour fixer et assimiler le CO₂ résiduel en molécules d'intérêt biologique [98].

Le principe de valorisation complète de la biomasse algale, aussi connu sous le nom de bioraffinerie en cascade, permettrait d'augmenter la rentabilité économique des procédés de production de biocarburant à partir de microalgues. Dans une étude récente menée par l'APESA (projet POCTEFA Cyclalg 2014–2020), la souche *Chlorella protothecoides* a été fractionnée pour la production de cinq bioproduits incluant du biodiesel, des acides aminés et des sucres avant d'être utilisée pour la production de biogaz *via* la méthanisation [94][99].

Au niveau de la culture des microalgues, il existe un nombre très important de souches, chacune ayant ses propres spécificités tant en termes de conditions de production que de molécules d'intérêts présentes dans les parois cellulaires. Les microalgues peuvent se cultiver dans des bassins ouverts (ex. : raceway) ou en réacteurs fermés (ex. : photobioréacteurs tubulaires) selon de type d'application, en utilisant une source de lumière (photo autotrophie) ou en absence de lumière (hétérotrophie).



BIOCARBURANTS DE PREMIÈRE, DEUXIÈME ET TROISIÈME GÉNÉRATION

La biomasse peut servir à produire des carburants en remplacement des carburants issus de produits fossiles. Des unités existent déjà en Nouvelle-Aquitaine pour produire de l'éthanol à base de maïs (unité Vertex Bioénergie à Lacq) ou du diesel à partir d'huile de colza ou de tournesol (usine SAIPOL à Bassens). Ces unités fabriquent des biocarburants dits de première génération qui utilisent des matières végétales qui peuvent être utilisées pour l'alimentation.

En partant de biomasse lignocellulosique (bois, paille...) ou de déchets lipidiques (huiles usagées) – c'est-à-dire des produits qui ne sont pas utilisés dans l'alimentation humaine - il est possible de produire ce que l'on appelle des biocarburants de deuxième génération. De nombreux procédés soit biochimiques soit thermochimiques sont en cours de développement et les premières unités industrielles commencent à sortir de terre.

La troisième génération de biocarburants sortira probablement dans le futur des microalgues : leur potentiel est important, mais il existe encore des challenges majeurs afin de développer une filière de valorisation complète tout en assurant sa viabilité économique, sociale et technique.

« Je pense qu'un jour, l'hydrogène et l'oxygène seront les sources inépuisables fournissant chaleur et lumière »

Ces mots écrits par Jules Verne dès 1874 dans son roman « L'île mystérieuse », auguraient déjà de l'intérêt des scientifiques et de la société en général pour une nouvelle forme d'énergie « plus propre et plus vertueuse ». Aujourd'hui, environ 180 ans après l'invention de la pile à combustible par Sir W.Grove en 1839, les technologies actuelles de production, de distribution, de stockage et de conversion du di-hydrogène (H_2), nous permettent d'envisager l'utilisation de ce gaz dans un grand nombre d'applications industrielles (Figure 18).

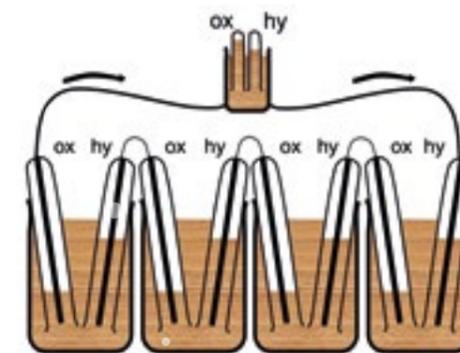


Figure 18 : Diagramme du fonctionnement de la pile à combustible (100).

Sur la partie inférieure, des tubes à essai remplis de di-hydrogène (H_2) ou de di-oxygène (O_2) sont trempés dans 4 béciers remplis d'acide sulfurique dilué. Ils constituent ainsi 4 éléments de piles à combustible associés en série. Sur la partie supérieure, un réservoir avec deux tubes à essai permet de mettre en évidence l'électrolyse de l'eau (production de H_2 et O_2) à l'aide du courant électrique précédemment généré. L'idée de la réversibilité électrolyse / pile à combustible était déjà proposée.

En effet, depuis quelques années, l'hydrogène connaît un intérêt sans précédent à la fois dans le monde politique et sur le plan commercial, et de fait de nombreux projets se développent rapidement à travers le monde. Après les progrès importants des piles à combustible et des réservoirs à H_2 liés à la conquête spatiale dans les années 1960, des avancées clés de la recherche ont contribué à la croissance des technologies de l'hydrogène ces dernières années. On peut citer dans les avancées incrémentales : la réduction des quantités de catalyseurs à base de métaux précieux, l'amélioration de la conduction ionique des membranes polymère et céramique, ou bien encore la mise au point de nouveaux matériaux de stockage d'hydrogène et de nouvelles architectures des systèmes. L'hydrogène est d'abord un vecteur énergétique (comme l'électricité), il sert à transporter de l'énergie entre un site de production et un site de consommation. L'hydrogène est souvent présenté comme le vecteur clé de la transition énergétique : contrairement à l'électricité, il est stockable de la même manière que le méthane (en cavité saline ou en réservoirs de surface). Il permet également de coupler entre eux les réseaux énergétiques (électricité, gaz et chaleur), permettant – en théorie – d'optimiser ces réseaux [101]. Les modes de production tout comme les utilisations finales de l'hydrogène sont nombreux et non stabilisés, donnant lieu à tous types de scénarios. Il n'existe pas une seule filière hydrogène mais une pluralité [102].

En parallèle, de nouvelles méthodes de production d'hydrogène décarboné se développent : les plus avancées sont la pyrolyse du méthane que ce soit par torches plasma ou micro-ondes et la production de l'hydrogène naturel que la terre génère quotidiennement. D'autres technologies à plus bas TRL, autrement dit pas encore prêtes à être industrialisées, sont aussi en gestation dans les laboratoires comme l'utilisation des algues ou de micro-organismes. Du point de vue technologique, le coût de l'approvisionnement en hydrogène à partir d'énergies renouvelables a baissé et continue de diminuer. Actuellement, conscients de l'urgence de la réduction des émissions de GES, de nombreux pays ont commencé à prendre des mesures pour décarboner leurs économies, notamment dans le domaine de la production et de la consommation d'énergie. Le déploiement de l'hydrogène a évolué au cours des deux dernières décennies, avec un déplacement de l'attention des applications pour l'industrie automobile vers des secteurs difficiles à décarboner tels que les industries à forte intensité énergétique, les camions, l'aviation, le transport maritime et les systèmes de chauffage (Figure 19).

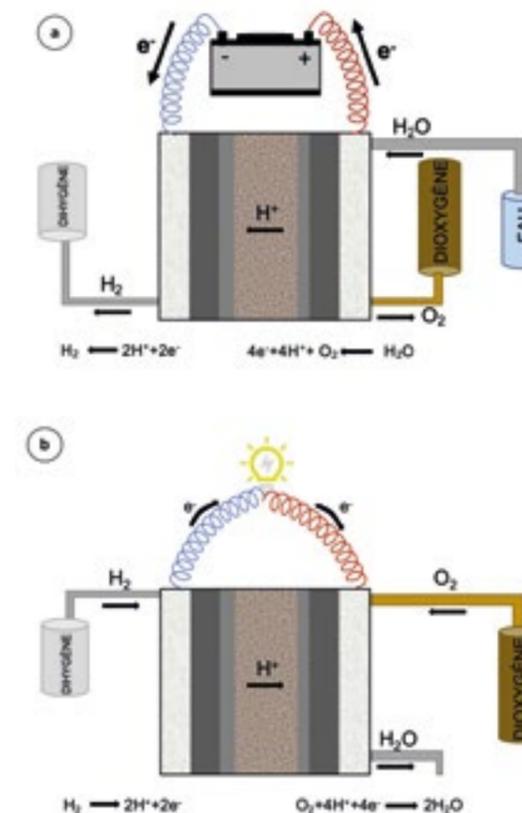


Figure 19 : a - Schéma de principe d'un électrolyseur b - schéma de principe d'une pile à combustible

L'hydrogène

6.1

LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

Dans ce contexte, il est essentiel d'assurer un approvisionnement en hydrogène à faible émission de carbone et à faible coût tant financier qu'énergétique. Parmi les options d'approvisionnement actuelles et futures plusieurs sont envisagées : la production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles (hydrogène gris) ; production d'hydrogène à partir de combustibles fossiles combinée avec la capture, l'utilisation et le stockage du carbone (Carbon Capture Utilisation and Storage CCUS ; hydrogène bleu) ; et l'hydrogène de renouvelables par lequel certains sépare l'hydrogène issu des piles à combustible avec de l'électricité verte (hydrogène vert), l'hydrogène issu de la pyrolyse du méthane (turquoise pour certains) et l'hydrogène blanc issu du sous-sol (Figure 20).

Actuellement 95 % de l'hydrogène est produit à partir de sources fossiles dont pour près de la moitié à partir de gaz naturel (source IFPEN). Il est à noter que ces couleurs sont plus le fait de lobbyistes que de scientifiques ou de législateurs. La France reconnaît dans les textes officiels l'hydrogène bas carbone et tous les autres ce qui paraît beaucoup plus honnête.

L'hydrogène vert, produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable, devrait croître dans les années à venir. De nombreux projets en cours et prévus vont dans ce sens. L'hydrogène issu des EnR est aujourd'hui techniquement viable et mais non compétitive par rapport au H₂ produit par vaporeformage ou encore par rapport au méthane. L'intérêt croissant pour cette option d'approvisionnement est motivé par la baisse des coûts de l'énergie renouvelable et par la meilleure intégration des systèmes de production et de stockage du di-hydrogène. En particulier pour l'autonomie de certains territoires, peu ou mal reliés au réseau de distribution, le stockage de l'électricité *via* l'H₂ peut être une bonne solution, bien meilleure que les batteries. Il faut noter néanmoins que la quantité d'énergie nécessaire pour casser la molécule d'eau est très supérieure à celle nécessaire à casser la molécule de méthane et qu'il y a des limites physiques à la baisse des coûts de cette technologie. L'intégration de l'hydrogène dans le mix énergétique est à évaluer en fonction des spécificités des régions en termes de production et de consommation. À noter que la conversion électricité-hydrogène engendre des pertes. Avec les technologies actuelles, le rendement énergétique des électrolyseurs n'est que de 75-80 % et celui des piles à combustible de l'ordre de 50-60 %.

On peut imaginer que le vecteur d'énergie H₂ soit le partenaire de choix des EnR intermittentes car il pourrait permettre un stockage de grandes quantités d'énergie et ainsi permettre de mieux ajuster les systèmes de production à la consommation. L'hydrogène peut être utilisé pour le stockage journalier et saisonnier de l'énergie. En suivant cette option, il s'agit prin-

cipalement de convertir de l'électricité issue des EnR en gaz (Power-to-Gas), permettant ainsi de stocker le surplus d'électricité lors des phases de forte production d'EnR pour les restituer à d'autres moments (soit sous forme gazeuse, soit *via* une conversion inverse Gas-to-Power).

Dans ce cadre, la molécule de H₂ pourrait augmenter considérablement les potentiels de croissance du marché de l'électricité renouvelable par exemple dans l'industrie. Néanmoins, l'hydrogène à bas coût est la condition préalable à la mise en pratique de ces synergies qui sont à évaluer en fonction du territoire. La valeur que celui-ci accorde à son autonomie énergétique, le prix du CO₂ et les risques liés aux approvisionnements internationaux entrent en ligne de compte.

Dans ce contexte, les nouvelles technologies d'électrolyseurs pourraient néanmoins ajouter de la flexibilité de production de l'hydrogène (côté demande). En effet, on peut observer que les électrolyseurs évoluent rapidement, passant du mégawatt (MW) au gigawatt (GW).

Concernant l'hydrogène bleu, il présente des caractéristiques intéressantes, mais il n'est pas intrinsèquement sans carbone. Les combustibles fossiles avec CCUS nécessitent une surveillance, une vérification et une certification du dioxyde de carbone (CO₂) pour tenir compte des émissions non captées et de la rétention du CO₂ stocké. Le développement de l'hydrogène bleu comme solution de transition est également confronté à des difficultés de montée en gamme de la production et de logistique d'approvisionnement. Le développement et le déploiement du CCUS ont pris du retard par rapport aux objectifs fixés au cours de la dernière décennie. Les coûts supplémentaires constituent un défi, ainsi que les économies d'échelle qui favorisent les grands projets. Des synergies peuvent exister entre déploiement de l'hydrogène vert et bleu, par exemple des économies d'échelle dans l'utilisation de l'hydrogène ou la logistique de déploiement. Néanmoins la France n'ayant quasiment plus de gaz et ayant fermé ses mines de charbon, la question de la production de ce type d'H₂ sur le territoire national ne se pose pas.

La pyrolyse du méthane est sur le papier une voie très prometteuse, car la réaction ne génère pas de CO₂ (gaz) mais du noir de carbone (solide). Les grands pays gaziers que sont les USA et la Russie ont des installations pilotes. De son côté la Chine, premier producteur actuel d'H₂, s'oriente vers la combustion *in situ* du charbon, là aussi pour faire de l'H₂ sans CO₂. Enfin l'hydrogène blanc que l'on trouve dans le sous-sol commence à être très sérieusement exploré après des découvertes fortuites, en particulier au Mali. Les pays les plus avancés sont l'Australie et les USA où la loi du sous-sol a rapidement été ajustée pour tenir compte de cette nouvelle ressource naturelle. Rien qu'en Australie du Sud, plus d'une vingtaine de permis d'exploration ont déjà été demandés. En France, le droit minier reconnaît cette ressource depuis début 2022. La Région Nouvelle-Aquitaine fait évaluer actuellement son potentiel *via* un consortium comprenant CVA, le BRGM, l'UPPA, 45-8 Energy et Engie dans le projet H2NA (voir encadré).

Figure 20 : Classification des différentes « couleurs » du di-hydrogène (H₂) selon leur mode de production.

Couleur de l'hydrogène	GRIS	BLEU	TURQUOISE	JAUNE	VERT	BLANC
Technologie	Reformage du méthane à la vapeur ou gazéification avec captage du carbone (85-95 %)	Reformage du méthane à la vapeur ou gazéification avec captage du carbone (85-95 %)	Pyrolyse	Électrolyse	Électrolyse	Généré par interaction naturelle existant via des forages
Source	Méthane ou charbon	Méthane ou charbon	Méthane	Fibre nucléaire	Énergie renouvelable	Naturelle, pas d'énergie additionnelle

PROJET H2NA

Le Projet H2NA d'évaluation de la ressource régionale en hydrogène naturel rassemble des industriels (CVA, 45-8 et ENGIE et sa filiale Storengy) ainsi que des instituts de recherche (UPPA et BRGM), avec le soutien du Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine.

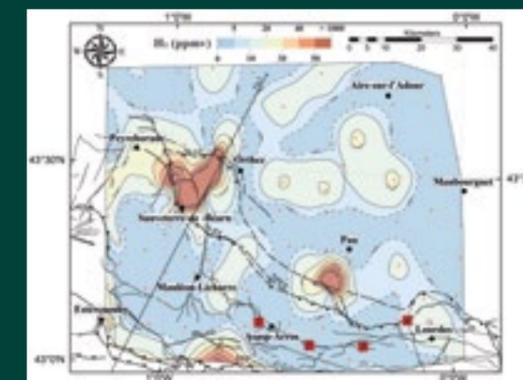
L'essentiel de l'hydrogène actuellement utilisé par l'industrie est produit à partir d'hydrocarbures, du méthane mais aussi du charbon pour ce qui est de la Chine, processus fortement émetteurs de CO₂. Une première alternative est de produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau, en utilisant par exemple l'électricité décarbonée, mais c'est énergivore. Une seconde alternative, moins connue bien que moins coûteuse, serait d'exploiter l'hydrogène natif, produit naturellement dans le sous-sol terrestre. C'est l'objet du projet H2NA que d'évaluer si notre sous-sol en génère, où et à quelle vitesse.

L'hydrogène est fabriqué continuellement et naturellement en profondeur par différents processus physico-chimiques. Le plus habituel est la réduction de l'eau (H₂O) et l'oxydation de roches riches en fer (Fe²⁺ > Fe³⁺). Par exemple, des chercheurs ont montré que dans les Pyrénées, des roches d'origine mantellique, enfouies à quelques milliers de mètres, sont susceptibles produire de l'hydrogène en présence de l'eau qui s'infiltre au niveau des reliefs et circule dans le sous-sol¹. L'hydrogène, gaz très léger, remonte ensuite naturellement jusqu'à la surface. S'il s'accumule dans des couches géologiques cet hydrogène peut présenter un intérêt économique, et pourrait être exploité via un forage assez classique. Actuellement une partie s'échappe dans les sols et l'atmosphère ce qui nous permet de le détecter (Figure à droite). Néanmoins, à ce jour, nous n'avons qu'une faible compréhension des systèmes géologiques de génération, de migration et de rétention d'hydrogène.

Le projet H2NA permettra de rassembler toutes les informations disponibles pour comprendre le fonctionnement des systèmes géologiques qui produisent naturellement de l'hydrogène sur tout le territoire de la région Nouvelle-Aquitaine. Les géologues et géochimistes sont depuis 2021 allés sur le terrain pour observer les roches

affleurantes et prélever des échantillons de gaz. Les géophysiciens ont utilisé des capteurs géophysiques pour investiguer plus en profondeur le sous-sol et mesurer ses propriétés physiques, un peu comme une « échographie ». Les données existantes, en particulier celles des puits pétroliers du passé ont été réanalysées, de fait certains contenaient déjà de l'hydrogène mais ils n'avaient pas à l'époque attiré l'attention. Un premier screening de toute la région a permis de préciser les zones les plus prometteuses et la deuxième année va permettre de préciser leur potentiel. Il est à noter que du côté espagnol dans un contexte géologique assez similaire un permis d'exploration d'H₂ a déjà été pris par la compagnie Helios Aragon.

À la fin du projet, la Région Nouvelle-Aquitaine sera en mesure d'évaluer la zone où pourraient se trouver des accumulations d'hydrogène et de proposer un schéma d'exploration-production respectueux de l'environnement et des habitants. Les géographes de l'UPPA seront impliqués pour cette dernière phase, pour le recueil des attentes des différentes parties prenantes. Compte tenu du coût du transport de l'hydrogène une production locale et un usage de proximité seront vraisemblablement à privilégier.



Anomalies de contenu en H₂ du sous-sol mises en évidence par N. Lefeuve¹

¹ Lefeuve N., Truche L., Donzé F.-V., Ducoux M., Barré G., Fakoury R.-A., Calassou S., Gaucher E.C., 2022. Native H₂ Exploration in the Western Pyrenean Foothills, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 22, e2021GC009917. <https://doi.org/10.1029/2021GC009917>.

6.2

L'UTILISATION DE L'HYDROGÈNE

En ce qui concerne l'utilisation de l'hydrogène, deux grandes technologies sont en concurrence : d'une part la combustion (réaction directe avec le di-oxygène) et d'autre part la pile à combustible qui permet de convertir l'énergie chimique du gaz en électricité. La première filière est déjà bien connue notamment dans le domaine aérospatial (moteur de fusées) alors que la seconde, est moins mature et fait encore aujourd'hui l'objet de recherches fondamentales importantes. Un important usage de l'hydrogène concerne le chauffage. En effet, il est possible de mélanger l'hydrogène avec le gaz naturel du réseau de distribution à hauteur de 6 % (certains parlent d'aller jusqu'à 20 % moyennant des adaptations).

L'hydrogène peut également servir à alimenter des véhicules à hydrogène. La France n'a pas fait le choix des voitures à

hydrogène et peu de stations-services à hydrogène sont disponibles. Il existe des initiatives locales mais qui sont encore peu interconnectées. Les réseaux de transport en commun sont plus développés, comme le Fébus à Pau mis en avant par ses élus, mais tous les opérateurs ne sont pas convaincus (le réseau TBM de Bordeaux souhaite faire un test avant d'investir dans cette technologie). L'avenir principal de l'hydrogène semble plutôt se situer dans le transport routier et maritime dont la conversion apparaît plus stratégique et moins coûteuse en infrastructures.

S'agissant de l'usage du vecteur d'énergie H₂, à grande échelle, on peut citer en Nouvelle-Aquitaine les activités de la société Hydrogène de France (HDF Energy) basée à Lormont et notamment le projet CEOG (Centrale Électrique de l'Ouest

Guyanais) qui est dédié à des applications de moyenne puissance autre que le transport (encadré ci-dessous). Dans le domaine de la mobilité et à une échelle d'énergie et de puissance inférieure, la société Pragma Industrie localisée à Biarritz propose un vélo à assistance électrique VAE-H₂ ; à la fois un objet technique très innovant et un outil de valorisation des technologies de l'hydrogène vis-à-vis du grand public (encadré ci-dessous).

PROJET CEOG PAR HD ENERGY

La société Hydrogène de France (HDF Energy) basée à Lormont (33) s'inscrit comme le premier producteur mondial d'électricité stable à partir d'énergies intermittentes, avec le projet de la Centrale Electrique de l'Ouest Guyanais en associant un parc photovoltaïque de 55 MW avec le plus gros stockage d'énergie renouvelable au monde de 140 MWh à base d'hydrogène, couplé à un stockage d'appoint par batteries. Cette combinaison permet ainsi de produire, dans la durée, une électricité stable avec une énergie 100 % propre. CEOG ne consomme aucun carburant ni combustible et donc n'a recours à aucune logistique d'approvisionnement, contrairement aux centrales conventionnelles. Quant au stockage par hydrogène, HDF Energy maîtrise les technologies qui permettent de stocker l'énergie massivement, à un prix compétitif, afin de la restituer sur un temps long (toute la nuit ainsi que les jours peu ensoleillés ou peu venteux). Cette centrale Renewstable® ne consomme que de l'eau, du soleil et ne rejette que de l'oxygène et de la vapeur d'eau (Mana, Guyane, mai 2018).



PROJET DE VÉLO HYDROGÈNE DE PRAGMA INDUSTRIE

La société Pragma Industries a pour objectif de devenir le leader mondial de la mobilité légère à hydrogène en fournissant, avec ses partenaires, des solutions de mobilités complètes, de la production d'hydrogène décarboné jusqu'aux véhicules et services associés. Pour cela l'entreprise développe les solutions de mobilité les plus pratiques, les plus démocratiques et aussi les plus éco-responsables. Le vélo ALPHA bike, premier vélo à assistance électrique VAE-H₂ de série, offre une série d'avantages par rapport aux VAE-batteries, tant pour les utilisateurs, que pour les opérateurs et l'environnement : une recharge quasi instantanée (moins d'une minute) sur des stations dédiées, une grande autonomie, jusqu'à 150 km, Une insensibilité aux conditions climatiques. ALPHA délivre des performances constantes, et en particulier la même autonomie, y compris par temps très froid, une durée de vie supérieure et sans émission de CO₂. (Biarritz, août 2019).



6.3

TRANSPORT ET STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE

Les coûts d'approvisionnement en hydrogène rapportés à la quantité d'énergie utilisable, sont actuellement de 1,5 à 5 fois supérieurs à ceux du gaz naturel. Stocker l'hydrogène est difficile car cet atome est si petit qu'il peut passer à travers les réservoirs en métal qu'il fragilise et l'hydrogène est hautement inflammable au contact de l'air. Son stockage en surface relève d'un classement Seveso avec un seuil haut au-delà de 5 tonnes (on note à cet égard que le projet Horizéo près de Bordeaux prévoit une production d'hydrogène vert à hauteur de 4,7 tonnes). La température de liquéfaction du dihydrogène est proche du 0 absolu, environ 100 °C de moins que la température de liquéfaction du méthane et cette réaction de liquéfaction est exothermique pour l'hydrogène. Les barrières technologiques pour une circulation d'H₂ liquéfié à l'échelle planétaire sont donc nombreuses. Néanmoins beaucoup de chercheurs travaillent sur le sujet et le transport d'H₂ froid mais juste comprimé paraît une alternative intéressante.

Ce handicap certain est aggravé par des pertes d'énergie non négligeables se produisant dans la production, la conversion de l'hydrogène et également dans son transport.

Réduire les pertes associées au transport et au stockage de l'hydrogène est crucial pour diminuer le coût de l'approvisionnement. Des pipelines dédiés à l'hydrogène sont déjà en service et cela depuis des décennies. Le transport de l'hydrogène via des gazoducs existants et rénovés est à l'étude. Cela pourrait réduire les besoins d'investissement dans de nouvelles infrastructures et aider à accélérer une transition. Cependant, les normes concernant ces équipements doivent être précisées, ce qui peut prendre du temps. Que la voie à suivre implique un remplacement radical du gaz naturel ou une modification progressive de mélanges de gaz naturel et de mélanges d'hydrogène n'est pas encore clair. Il est à rappeler que le chemin inverse a été fait il y a 70 ans quand on a remplacé le gaz de ville (à 50 % de l'H₂) par le gaz naturel.

Concernant la question du stockage et en particulier dans le cadre de l'hydrogène embarqué, des challenges technologiques importants restent à relever. En effet, la densité d'énergie volumique de l'hydrogène est faible (3kWh/m³) ce qui nécessite de comprimer ce gaz pour avoir une autonomie suffisante pour de nombreuses applications. La compression ou la liquéfaction consomme de l'énergie. En particulier dans le domaine aéronautique, pour lequel les densités d'énergie volumique et massique sont des paramètres très importants, la liquéfaction de l'hydrogène ne semble pas être une stratégie adaptée à un usage courant. Il faut descendre à -253 °C (sous 1013 mbar) pour atteindre l'état liquide de H₂. Au coût énergétique de cette transformation d'état, il faut ajouter la complexité (et le poids) des réservoirs calorifugés permettant de maintenir une telle température pendant des durées suffisantes. Le stockage solide dans des hydrures est également une voie intéressante mais là encore le rapport masse d'hydrogène versus masse de poudre métallique est faible (environ 8 %) ce qui constitue un verrou technologique majeur. Une solution innovante proposée par l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (à Pessac) consiste à faire réagir une poudre métallique avec de l'eau afin de produire le H₂ à la demande (Projet HELP Hydrogen Energy at Low Pressure). En plus d'un gain de sécurité (l'H₂ produit est aussitôt consommé), le rapport massique d'hydrogène embarqué est supérieur à celui des réservoirs à hydrure (Figure 21).

Technologie	Gaz comprimé	Liquide	Solide	Hydrolyse
Pression (bar)	700	1	1	1
Température (° C)	ambiante	-253	ambiante	ambiante
Masse d'H ₂ (en g) par Litre	40	71	120	38 avec Mg solide 70 avec MgH ₂ solide

Figure 21 : comparaison de différentes technologies de stockage de l'hydrogène versus production d'H₂ par hydrolyse de l'eau avec du magnésium métallique.

CONCLUSION

Comme pour d'autres technologies par le passé (le pétrole notamment), une transition énergétique basée sur l'hydrogène ne se fera pas du jour au lendemain. À cet égard, la technologie d'injection d'hydrogène dans un moteur thermique fonctionnant au diesel ou à l'essence (Hydrogen Injection System HIS), afin d'améliorer la combustion pour économiser le carburant, qui est développée par la société LOGIKKO à Mérignac, représente un symbole fort d'une possible transition du pétrole vers l'hydrogène. Le besoin d'une nouvelle infrastructure d'approvisionnement dédiée pourrait limiter le déploiement de cette technologie à certains pays qui décident de suivre cette stratégie. Par conséquent, les efforts sur l'hydrogène carburant ne doivent pas être considérés comme une panacée, en particulier pour équiper la voiture individuelle. Cependant, l'hydrogène représente une solution complémentaire particulièrement pertinente pour les pays aux objectifs climatiques ambitieux et remplacer l'hydrogène carboné, matière première des engrais et de l'industrie chimique, dans l'industrie par de l'hydrogène décarboné serait déjà une belle réussite. Le développement des technologies de l'hydrogène s'inscrit dans le cadre d'une politique régionale en cours de structuration qui vise à promouvoir des pôles de compétences industrielles et scientifiques sur le territoire néo-aquitain (Figure 22). Cette stratégie régionale hydrogène doit répondre aux objectifs du SRADDET confirmés dans la feuille de route Néo Terra [103]. Par ailleurs, une feuille de route spécifiquement dédiée à l'hydrogène a été présentée en décembre 2020 par la Région Nouvelle-Aquitaine [104].

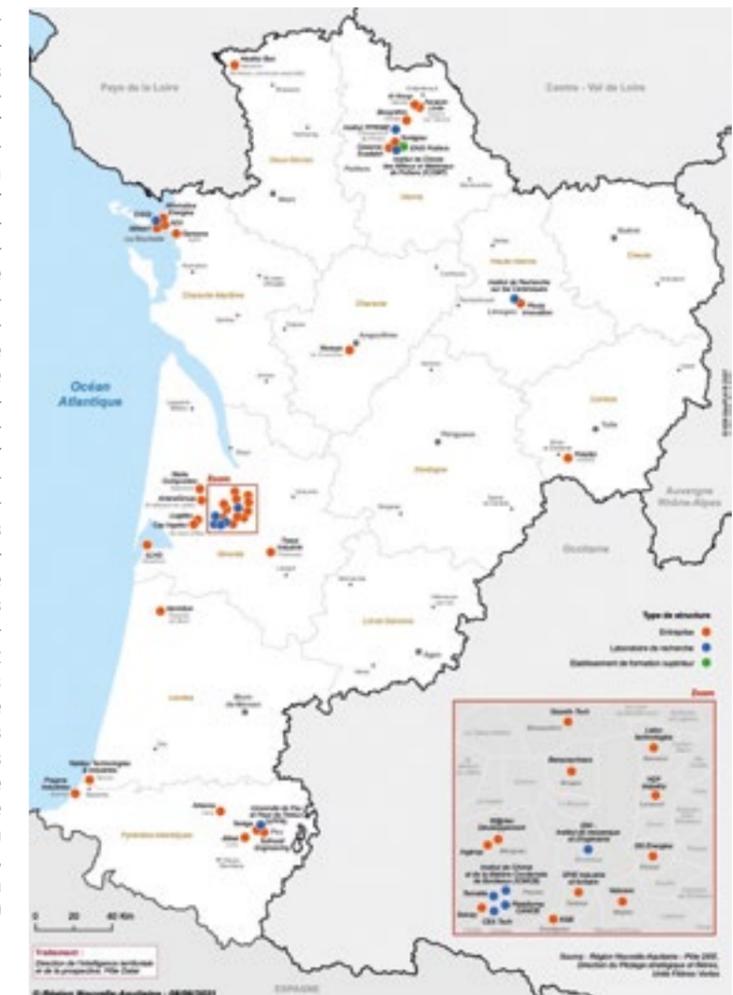


Figure 22 : répartition géographique des acteurs de l'hydrogène en Nouvelle-Aquitaine (entreprises, laboratoires de recherches et établissements de formation) - ©ADI Nouvelle-Aquitaine.

Les ports commerciaux néo-aquitains face à la transition énergétique

Rédacteurs : Caitriona Carter, Sylvain Roche

Contributeurs : Stéphane Gubert, Fabrice Klein, Bernard Plisson, Céline Viron

Ce chapitre examine les enjeux de la transition énergétique portuaire en Nouvelle-Aquitaine (NA)¹. La région Nouvelle-Aquitaine dispose de quatre ports de commerce : celui de La Rochelle (6^e port français) et celui de Bordeaux (7^e port français), grands ports maritimes relevant du contrôle de l'État ; celui de Bayonne, relevant de la Région Nouvelle-Aquitaine et celui de Rochefort Tonnay-Charente, relevant du Syndicat Mixte du port de commerce de Rochefort/Tonnay-Charente (Figure 23).

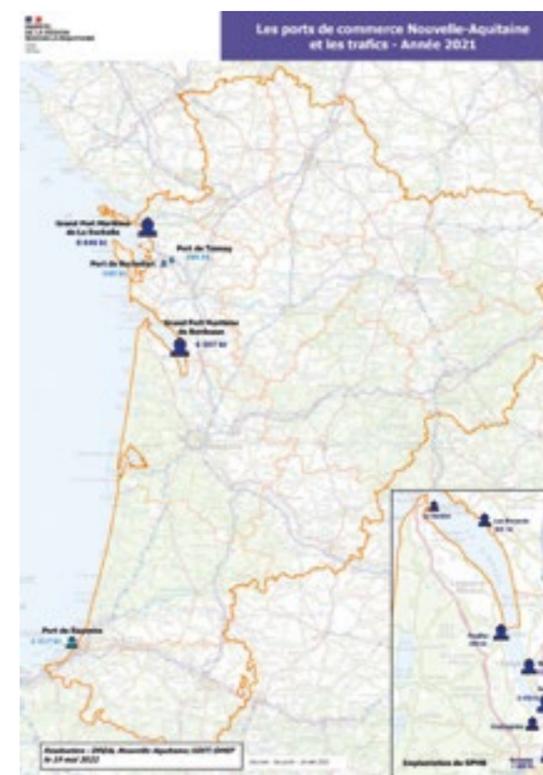


Figure 23 : Les ports de commerce en Nouvelle-Aquitaine et leur trafic, année 2021 (source : DREAL NA)

La transition énergétique de ces ports doit s'effectuer dans une situation où la vulnérabilité écologique et économique des zones portuaires est en jeu [105].

D'un côté, les infrastructures portuaires sont en première ligne face aux effets du changement climatique – tempêtes plus intenses, risques de submersion marine et d'érosion – autant de phénomènes susceptibles d'altérer la continuité de l'exploitation et du service portuaire dans les prochaines décennies [106]. Le rapport publié par l'organisation scientifique américaine Climate Central (2019) souligne la très grande fragilité des zones industrialo-portuaires de la région d'ici 2100, le littoral charentais et l'estuaire de la Gironde étant particulièrement impactés par le phénomène de montée du niveau des océans.

D'un autre côté, ces ports régionaux opèrent sur un marché mondial hautement concurrentiel, tandis que 90 % des échanges commerciaux internationaux s'effectuent par voie maritime. À ce titre, les ports doivent conserver la spécificité de leur offre en termes de services portuaires – à la fois sur les marchés européen, national et régional – sachant que l'*hinterland*² des ports est variable, celui de La Rochelle s'étendant jusqu'au corridor rhodanien, celui du port de Bayonne jusqu'au bassin industriel de Lacq.

La vulnérabilité des modèles économiques des ports régionaux tient en grande partie de la part des hydrocarbures et du charbon dans leur activité : en 2020, les produits pétroliers représentaient 30 % du trafic général du port de La Rochelle et 50 % du port de Bordeaux. Les ports doivent anticiper la baisse de ces flux. La Stratégie nationale bas carbone (SNBC) vise une réduction de 35 % des émissions de GES du secteur industriel en 2030 et de 81 % à l'horizon 2050. De plus, la transition énergétique portuaire constitue un élément clé du plan de relance français (2021-2022), en lien avec la mise en place d'une économie bleue. La contrainte carbone constitue d'ailleurs un véritable défi technologique et économique à relever pour l'ensemble du secteur maritime [107].

Ce défi doit inciter les ports de la région Nouvelle-Aquitaine à mieux se positionner face à ceux de la mer du Nord qui ont adopté le modèle de « port entrepreneur » [108] [109] en lançant des stratégies offensives de remontée de valeur ajoutée dans des chaînes logistiques existantes, tout en développant de nouvelles activités industrielles innovantes [110]. La pandémie de Covid-19 et la crise de l'énergie que nous vivons actuellement en 2022, ont un effet d'accélération sur des phénomènes déjà visibles, dans un contexte de croissance de « nearshoring » (produire près des centres de consommation) et de pressions écologiques, obligeant les ports à « verdier » leurs activités.

La transition énergétique pousse ainsi les ports à se préparer à l'arrivée de nouvelles filières industrielles, à l'image de celle des EnR et de l'hydrogène. Elle pose aussi de délicates questions pour les ports néo-aquitains : (1) Comment gérer le prévisible (la fin annoncée des industries liées aux énergies fossiles) et l'imprévisible (faire des paris technologiques audacieux sur des filières industrielles au futur incertain) ? (2) Comment viser la neutralité carbone en travaillant à la fois sur les fonctions logistiques (la gestion du flux) et les fonctions productives (la création de valeur) ?

Ce changement de modèle économique portuaire ne s'opère pas dans un vide institutionnel. Il est encadré notamment par des stratégies nationales portuaires (SNP) successives – dont la dernière a été dévoilée lors du Comité interministériel de la mer (Cimer) du 22 janvier 2021 au Havre – déclinées localement dans les stratégies propres à chaque port, d'une durée de 5 ans. À l'échelle régionale, les fiches d'actions 3 (ports et transport maritime) et 5 (énergies marines) du « Document stratégique de la façade maritime Sud-Atlantique » publié en mars 2022, comprennent un ensemble d'actions « concrètes et opérationnelles » à mettre en œuvre dans ces deux secteurs pour répondre aux objectifs stratégiques à l'horizon 2030. Les ports sont aussi directement concernés par les objectifs du *Green Deal* de l'Union européenne et son paquet « Fit for 55 », qui veut accélérer la mise en œuvre des EnR dans le transport maritime et dans les espaces industrialo-portuaires [111]. Les écosystèmes portuaires sont donc des nœuds énergétiques entre un « système-monde » pris dans un réseau global et des « systèmes-territoires » inscrits dans un contexte local [112].

1. Ce chapitre s'appuie à la fois sur des entretiens faits avec des acteurs portuaires en 2021-2022, et à la fois sur des articles scientifiques, des documents publics et des statistiques.
2. L'arrière-pays (*hinterland*) est l'aire d'attraction et de desserte continentale d'un port ou en termes économiques son aire de marché continentale.

Dans ce contexte complexe de transition énergétique, les ports doivent donc « se réinventer », d'abord sur le plan économique et environnemental, les ports se présentant comme des « lieux privilégiés d'accélération de la transition écologique des territoires » [113] et comme de véritables « gateways vers une économie plus durable » [114]. Ils doivent surtout se réinventer sur le plan de la gouvernance, notamment s'ils veulent intégrer la transition énergétique portuaire dans des projets ter-

ritoriaux locaux [115]. Une telle réinvention portuaire soulève les questions suivantes : (1) En quoi la transition énergétique est-elle une opportunité de changement dans les trajectoires de développement des ports de la région Nouvelle-Aquitaine ? (2) En quoi les ports de la région Nouvelle-Aquitaine sont-ils devenus des acteurs privilégiés de la transition énergétique en région ?



©Imagine Créations - Port Atlantique La Rochelle

7.1

LES PORTS COMMERCIAUX NÉO-AQUITAINS : PROFILS CONTRASTÉS, TRANSITIONS DIFFÉRENCIÉES

Notre étude pour ce cahier nous a permis d'identifier cinq facteurs clés de réussite de la transition énergétique portuaire : la nécessité de (1) repenser le modèle de consommation et de production d'énergie (2), devenir des « territoires d'accueil » des énergies renouvelables, (3) d'encourager le report modal en faveur de la mobilité fluviale et ferroviaire, (4) réinventer la gouvernance portuaire et tisser (ou approfondir) les liens avec les villes et (5) mieux intégrer les populations locales dans les nouveaux projets énergétiques.

Cependant, la transition énergétique n'est pas un processus homogène, mais au contraire varie d'un port à l'autre avec des effets différenciés sur les trajectoires de développement (portuaire et territorial). Chaque port néo-aquitain se diffé-

rencie par son statut, ses stratégies de développement, sa localisation, son histoire, sa gouvernance, ses infrastructures, ses connexions, son portefeuille commercial et ses chaînes de valeur existantes (Tableau 4). Ces spécificités combinées, qui se sont accumulées au fil du temps, se traduisent par un certain « profil de port » qui joue sur les options et les stratégies, contribuant à la mise en place de projets « vitrines » avec des spécificités importantes.

Ressources portuaires/ Ports	Juridiques	Institutionnels	Géographiques	Économiques	Territoriales	Projet Vitrine
Port Atlantique La Rochelle	Grand Port Maritime (établissement public de l'État)	Plan stratégique 2020-2024 Port Horizon 2025	Port maritime en eau profonde ouvert 24/7 (Atlantique) 554 ha	Exportation de céréales représente (35 % des tonnages manutentionnés) ; Importation des hydrocarbures (32 % des tonnages) ; 133 établissements implantés sur la zone portuaire représentant environ 1715 emplois directs.	Territoire laboratoire d'expérimentation ; relations Ville-Port construites et travaillées	Éolien offshore
Bordeaux Port	Grand Port Maritime (établissement public de l'État)	Plan stratégique 2021-2025	Port estuarien et multi-terminaux (7 sites le long de la Gironde sur 100 kilomètres) Plus de 2500 ha	Trafic reposant sur les hydrocarbures fossiles (~50 %) et l'industrie agro-alimentaire (~25 %) ; 274 établissements dans le complexe industriel-portuaire représentant 8100 emplois directs	Aujourd'hui tentative de (re)connexion ; Passé conflits : déconnexions port et territoire	Réindustrialisation via l'hydrogène vert en quantité industrielle ; l'économie circulaire et les ressources locales
Port de Bayonne	Port régional propriété de la Région Nouvelle-Aquitaine - CCI Bayonne Pays-Basque concessionnaire portuaire	Schéma Directeur d'Aménagement (2012)	Port transfrontalier 150 ha	Port industriel : 75 % marchandises travaillées sur place 45 % trafic perdu après 2009 et deuxième souffle via le volet environnemental	Renouer les liens port/ville Travail sur l'attractivité du port pour la ville	Houlomoteur
Port de Rochefort Tonnay-Charente	Port territorial Syndicat mixte portuaire (dept et Agglo Rochefort)	Schéma du développement portuaire ; Contrat de Transition Écologique (CTE) du territoire	Port fluvio-maritime 6 ha	Céréales exports Cabotage plusieurs filières - bois, ciment, sable Port économie locale	Renouer les liens port/ville Travail sur l'attractivité du port pour la ville	Filière recyclage de matériaux et projet de labellisation du port « ecoport »

Tableau 4 : Présentation synthétique des caractéristiques importantes pour comprendre à la fois les projets vitrines et leur gouvernance.

7.2

REPENSER LE MODÈLE DE CONSOMMATION ET DE PRODUCTION D'ÉNERGIE

Lorsqu'on parle de transition énergétique portuaire, il est important de bien différencier le port en tant qu'institution administrative (qui reste finalement relativement peu énergivore) et le port en tant qu'écosystème portuaire (le foncier du port, ses bâtiments/remorques, etc., et ses industries installées). L'autorité portuaire offre ses services à la fois aux navires et aux opérateurs économiques (industriels, entreprises de transport) sur son foncier propre.

Les zones portuaires concentrent encore des flux énergétiques carbonés non négligeables. Les hydrocarbures et le charbon représentaient près de 50 % des trafics (en tonnage) des GPM métropolitains en 2017. Le modèle économique des ports est encore dépendant de ce type d'activité appelé à décroître dans les prochaines années, à mesure que les flux liés aux énergies fossiles seront remplacés par des flux liés aux énergies bas carbone.

La transition énergétique des espaces industrialo-portuaires implique donc une démarche associant les acteurs économiques (opérateurs du transport et de la logistique, industries, fournisseurs d'énergie, etc.) et les autorités portuaires [116]. Pour y parvenir, les ports ont l'avantage de posséder du foncier. Celui-ci, hors zone naturelle, peut servir à des opérations de réindustrialisation tournées vers la transition écologique et énergétique.

Cette néo-industrialisation peut s'appuyer sur des modèles issus de l'économie circulaire laquelle vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement avec une meilleure utilisation des déchets (utilisation de la chaleur résiduelle, optimisation du cycle de l'eau, réutilisation du CO₂, retrofit des navires existants, etc.). Plusieurs expériences de ce genre ont été lancées en France au cours des années 2010 [117]. Des indicateurs simples associés à l'écologie industrielle/économie circulaire en milieu portuaire permettent aujourd'hui de définir et de mesurer le rendement des actions impliquées sur les territoires concernés [118].

En 2016, le port de La Rochelle et l'Union Maritime de La Rochelle ont engagé une démarche de coopération inter-entreprises identifiée sous le label « Matières Énergies Rochelaises » (MER). Lancée officiellement en 2019, elle porte sur l'ensemble des activités économiques de la place portuaire et de ses environs, et rassemble plus de 40 entreprises avec l'objectif de les accompagner dans leur transition énergétique.

S'inscrivant dans le cadre du projet Port à énergie et économie positives (PEEPOS) lancé en 2013, un projet de méthaniseur (capable de traiter jusqu'à 25 000 tonnes par an de matières organiques) est en cours de construction sur les zones industrialo-portuaire de Bassens et d'Ambarès-et-Lagrave, en Gironde. Des déchets organiques seront ainsi transformés en énergie et en engrais pour les exploitations agricoles, dans un rayon de 50 kilomètres.

À Tarnos, sur le site du port de Bayonne, l'entreprise Celsa recycle des ferrailles pour ses laminoirs dans une approche d'écologie industrielle mais ce projet reste une source de controverses citoyennes importante. Cette approche connaît donc des limites tenant à l'acceptabilité sociale des projets.

Enfin, le port de Rochefort Tonny-Charente est partie prenante du CTE porté par la Communauté d'Agglomération avec des développements portant sur l'économie circulaire et la valorisation des déchets générés par les entreprises portuaires.

7.3

DÉVELOPPER L'ACCUEIL DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Disposant de surfaces et d'infrastructures adaptées, les ports sont des portes d'entrée et des zones de compétences fortes pour les énergies renouvelables matures ou en émergence. La transition énergétique se traduit ainsi par le passage d'un port mono-énergie et consommateur d'énergie à un port pluri-énergies et producteur d'énergie.

1. FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT DU PHOTOVOLTAÏQUE (PV) DANS LES ZONES INDUSTRIALO-PORTUAIRES

Le port offre des infrastructures permettant aux industriels d'adopter des comportements plus éco-responsables, et à ce titre, cette transition énergétique passe en grande partie par une électrification plus importante des activités (électrification des quais, des remorques, des grues, des hangars, etc.). Le déploiement de la connexion électrique des navires à quai (CENAQ) permet l'amélioration de la qualité de l'air et une réduction des émissions de CO₂ [119], tout en permettant une meilleure acceptabilité des navires de croisières.

Plus largement, le potentiel photovoltaïque est certes limité mais intéressant pour améliorer la compétitivité des entreprises des places portuaires. Voici quelques exemples de projets en cours ou déjà réalisés :

- Production et réinjection réseau (port de La Rochelle : 30 000 m² installés pour 4,2 MWc de puissance) ;
- Autoconsommation industrielle et PPA (ferme photovoltaïque de 350 000 m² pour 52 MWc au Verdon-sur-Mer) ;
- Autoconsommation collective (projet de boucle d'autoconsommation collective à l'échelle du port de La Rochelle) ;
- Rénovation du bâti existant (15 000 m² de PV sur le toit de la base sous-marine de La Rochelle ; 20 000 m² de PV prévus sur les hangars rénovés de Bassens).

2. FAVORISER LE DÉPLOIEMENT DE L'HYDROGÈNE

Dans le cadre de la stratégie hydrogène présentée par le Gouvernement le 8 septembre 2020, les ports doivent développer une offre de production d'hydrogène pour les besoins des industries et du transport.

S'inscrivant dans cette dynamique, les ports de la Nouvelle-Aquitaine se sont lancés dans des politiques visant à déployer les technologies hydrogène, notamment les deux grands ports maritimes d'État. Citons par exemple le projet Cathy à La Rochelle (200 tonnes d'hydrogène fatal (sous-produit qui n'est généralement pas utilisé) issues de la production de méthylate de sodium pourraient être récupérés et valorisés localement) ou encore le projet H2Bordeaux [120] qui a permis d'évaluer le potentiel de d'utilisation de l'hydrogène fatal sur la zone portuaire bordelaise (300 tonnes d'hydrogène rejetés par an à Ambès).

La stratégie du GPMB vise la production de 140 000 tonnes d'hydrogène renouvelable pour des usages industriels, soit 1 GW de capacité d'électrolyse¹ ; cette massification permettra la baisse des prix de l'hydrogène et son usage dans les transports. Néanmoins, la montée en puissance de cette offre dépendra de la croissance de la production d'électricité verte régionale et reste soumise à d'importants verrous technico-économiques non encore résolus (cf. chapitre hydrogène ci-dessus).

3. FAVORISER LE DÉPLOIEMENT DES ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES (EMR)

En tant qu'activité en mer, les EMR ont besoin des ports. En effet, une large activité portuaire peut résulter des opérations d'installation avec le choix de ports de proximité [121].

À la suite d'une étude Région Aquitaine/GIP littoral réalisée en 2012, une spécialisation technologique des ports s'est dessinée à l'échelle de la région Nouvelle-Aquitaine, au regard des ressources naturelles disponibles et des caractéristiques géographiques. Les résultats obtenus montrent que les EMR peuvent s'appuyer géographiquement sur les trois principaux ports de commerce. Au nord, le port de La Rochelle et son domaine maritime dispose d'un potentiel pour l'énergie éolienne *offshore*, tandis que le port de Bordeaux a la possibilité de déployer l'énergie hydrolienne en zone fluvio-estuarienne et le port de Bayonne, l'énergie houlomotrice utilisant l'énergie contenue dans le mouvement de la houle.

• Port de La Rochelle et l'énergie éolienne *offshore*

Un objectif de 40 GW d'éolien marin (50 parcs) d'ici 2050 en France a été présenté par le président de la République Emmanuel Macron lors de son discours de Belfort du 10 février 2022 (Le Comité interministériel de la mer, en janvier 2021, avait cité un potentiel de 49 à 57 GW). Cette ambition nationale s'inscrit dans l'objectif défini à Bruxelles de déployer 60 GW d'éolien *offshore* d'ici 2030 et 300 GW d'ici 2050 (chiffre qui pourrait être revu prochainement à la hausse vu les objectifs nationaux affichés récemment par les pays riverains de la mer Baltique). Le développement de l'éolien *offshore* est aujourd'hui privilégié du fait de la baisse des prix, de la maturité de la technologie et de sa relative meilleure acceptabilité sociale. Le premier parc français (480 MW) a été inauguré au large de Saint-Nazaire (44). Faisant suite à différents appels d'offres lancés depuis 2011, d'autres parcs sont en cours de construction en France, notamment au large des côtes normandes (3,6 GW ont aujourd'hui été attribués). L'ampleur des projets nous rappelle ici que les ports sont au service d'un territoire qui est plus large que le strict territoire urbain dans lequel il est inséré.

En Nouvelle-Aquitaine, le Document Stratégique de la Façade (DSF) maritime Sud-Atlantique (2022) cherche l'équilibre entre la préservation des activités traditionnelles (conchyliculture, pêche, tourisme...) et le développement des EMR. En Charente-Maritime, un projet visant à développer un parc éolien *offshore* posé (avec des éoliennes fixées au plancher marin *via* une fondation) d'une puissance de 1 GW à 2 GW au large d'Oléron est en cours d'instruction. Mis au débat public entre octobre 2021 et février 2022, le projet initial a été jugé « irréalisable » par les membres de la CNDP du fait de controverses très fortes liées aux deux zones de protection Natura 2000 (la

CNDP a utilisé l'expression « consensus du refus » pour parler de ce projet d'Oléron). Prenant actes des recommandations du débat public, l'État a décidé de modifier la zone initialement prévue d'implantation de son projet de parc et retient le scénario alternatif d'une implantation en dehors du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Le parc éolien sera situé à plus de 35 kilomètres des côtes, au large de l'île d'Oléron². Plusieurs études environnementales complémentaires doivent désormais (re)dessiner les contours du projet, prévu désormais à l'horizon 2030. Ce premier projet éolien *offshore* en Nouvelle-Aquitaine, pourrait offrir une opportunité à La Rochelle de devenir un « territoire-laboratoire » pour fédérer les recherches régionales dans le domaine énergétique et des sciences océaniques.

L'éloignement du projet de la côte peut permettre de mieux légitimer la construction d'un parc éolien flottant dans ce secteur, la technologie flottante étant toujours dans une phase de R&D et démarrage à l'échelle internationale. Un parc flottant d'1 GW en Charente-Maritime (potentiellement le plus puissant en France) serait un « projet innovant » favorisant un rayonnement technologique de la région non négligeable pour sa dimension symbolique (Figure 24).



Figure 24 : Zones retenues pour les procédures de mise en concurrence et la poursuite des études techniques et environnementales (122).

1. Citons par exemple le projet européen Green P(H₂)sics qui vise au déploiement à grande échelle de l'hydrogène renouvelable et à des carburants alternatifs comme les e-fuels (e-ammoniac, e-méthanol, voire e-méthane) ou les SAF (Sustainable Aviation Fuel).
2. Une procédure de mise en concurrence sera lancée en 2022 en vue de l'attribution d'un parc d'éoliennes en mer posées au large de la côte Sud-Atlantique, d'une puissance de 1 000 MW environ. Une deuxième procédure de mise en concurrence a vocation à être lancée ultérieurement pour un deuxième parc, d'une puissance de 1 000 MW. (Décision du 27 juillet 2022 consécutive au débat public portant sur le projet de parcs éoliens en mer en Sud-Atlantique et son raccordement, JORF n. 0174 du 29 juillet 2022).

Depuis quelques années, le port de La Rochelle poursuit des démarches pour stabiliser son rôle dans le développement de l'éolien en mer. Encourageant le développement d'industrie de colis lourds sur le foncier portuaire, il a servi durant 18 mois de hub logistique pour les monopieux et les pièces de transition du premier parc éolien *offshore* français de Saint-Nazaire. Il s'est aussi positionné pour récupérer et stocker des pièces des éoliennes terrestres. Identifié comme plateforme potentielle pour accueillir les pièces éoliennes dans les nouveaux projets, et comme port d'entrée et sortie pour les navires chargés de pièces d'éolien, le port a mis en place un projet d'aménagement portuaire adéquat (Port Horizon 2025). Les disponibilités foncières sur l'anse Saint-Marc qui sont susceptibles d'extension avec la plate-forme voisine de La Repentie sont ainsi en cours d'aménagement pour mieux recevoir des activités liées à l'éolien *offshore*. Ces projets d'aménagement du foncier pourraient éventuellement lui permettre d'héberger les parties des éoliennes flottantes et les assembler dans le port.

L'autorité portuaire a aussi fait un travail politique important pour approfondir des relations avec la ville dans le cadre du projet « La Rochelle Territoire Zéro Carbone » (LRTZC) et articuler son rôle dans le développement des EMR, fortement appuyé par l'Agglomération de La Rochelle, et la transition énergétique du territoire.

• Le Port de Bayonne et l'énergie houlomotrice

La Région Nouvelle-Aquitaine, propriétaire du port de Bayonne, s'est associée avec la Communauté d'Agglomération Pays Basque (CAPB) en 2016, pour engager une démarche stratégique de planification visant à identifier les enjeux énergétiques houlomoteurs, le potentiel de la ressource exploitable – appréhendé comme élevé dans la région - et l'impact possible de ces équipements sur la biodiversité. Il serait également possible de faire émerger la filière localement.

Ce projet houlomoteur s'inscrit dans une réflexion entamée depuis plusieurs années accompagnée d'actions concrètes : des retours d'expérience sur des projets « test » houlomoteur, dont un prototype fixé à une digue à Mutriku (Euskadi, Espagne), mais qui n'a pas donné les résultats escomptés ; et l'ancrage du projet dans la stratégie de développement de la CAPB pour 2023.

Ce travail a été poursuivi par l'identification des zones sur terre et en mer pour rendre possible et acceptable l'installation d'une ferme houlomotrice. Une zone sur le foncier portuaire a été retenue et un travail de concertation a été engagé pour identifier une zone technique en mer au large du port de Bayonne. Le partenariat Région-CAPB a anticipé les longueurs des procédures administratives en engageant une évaluation environnementale en amont afin d'acquiescer une base de données solides pour le futur porteur de projet. Une fois les données acquises, un AAP sera lancé. Tout le monde a conscience qu'il y a de nombreux défis à relever, car il n'existe pas encore une technologie suffisamment mature et industrialisable.

Des relations fortes avec la CCI (concessionnaire du port de Bayonne), l'agglomération, et les élus régionaux locaux, sont ainsi à l'œuvre. La stratégie de planification spatiale marine attachée à ce projet devrait permettre à terme d'identifier une ou des zones à moindre risque pour favoriser l'implantation d'une ferme houlomotrice, qui pourrait attirer d'éventuels développeurs de technologies et des énergéticiens.

À Bordeaux, le projet de Site Expérimental Estuarien National pour l'Essais et l'Optimisation d'Hydroliennes (Seeneoh) positionne le territoire girondin sur la filière hydrolienne fluviale et estuarienne depuis 2018.

Si le développement de l'éolien *offshore* et celui de l'hydrogène s'inscrivent dans des politiques énergétiques nationales institutionnalisées, ce n'est pas le cas à ce jour pour les énergies hydrolienne et houlomotrice, qui sont aujourd'hui absentes de la PPE car jugées trop chères et non matures. Le contexte de tension énergétique actuel pourrait néanmoins pousser l'État à mieux prendre en compte ces énergies émergentes dans un futur plus ou moins proche.

7.4

ENCOURAGER LE REPORT MODAL EN FAVEUR DE LA MOBILITÉ FLUVIALE ET FERROVIAIRE

Plusieurs recherches pointent que l'urgence écologique, qui exige des transports moins consommateurs d'énergie, va bouleverser le secteur du transport.

À La Rochelle comme à Bayonne, les autorités portuaires ont travaillé avec quelques entreprises cibles pour favoriser le report modal des trafics (par ex. céréaliers) par voie ferroviaire, en impliquant des opérateurs ferroviaires de proximité [123].

Un des enjeux environnementaux est d'allonger autant que possible le segment fluvio-maritime dans le transport, moyen de transport beaucoup moins polluant que le transport routier (1 convoi fluvial de 4 500 tonnes équivaut à 220 camions). Or, 87 % du transport de marchandises passe actuellement par la route [123]. Cela passe par un ré-éclatement du transport dans des navires plus petits permettant d'irriguer un large territoire de manière beaucoup plus variée. Dans cette dynamique, le fret est repensé et le transport fluvial se réinvente [124]. Les préoccupations environnementales permettent au transport fluvial, d'une part, de concurrencer à nouveau le transport routier, d'autre part, de gagner en visibilité et peser dans les futures politiques de transport [125]. D'après l'ADEME [126], les émissions de CO₂ sont directement liées à la consommation de carburant et le transport fluvial émettrait deux à quatre fois moins de CO₂ que le transport routier sur une distance comparable. Signé en avril 2021, le contrat d'objectifs et de performance (COP) entre l'État et Voies navigables de France [127] pour la période 2020-2029 entend faire du mode fluvial un des piliers de la transition écologique, avec l'objectif d'un doublement du volume de fret transporté d'ici 2030¹.

Empruntant un réseau sous-exploité, le transport fluvial permet d'opérer des déplacements de marchandises volumineuses. À Bordeaux, les travaux d'électrification des pontons témoignent de la volonté des acteurs publics de mieux valoriser le fleuve et le fret fluvial pour la logistique du dernier kilomètre. La navigation de marchandises entre les deux rives de la Garonne *via* le terminal de Grattequina à Blanquefort (33) est envisagée. Plus largement, des réflexions sont en cours concernant la relance des bateliers autour du canal des deux mers et de la Gironde [128]. Cette (re)valorisation du transport fluvial de marchandises est une fenêtre d'opportunité pour innover afin de rendre la propulsion des navires moins polluante (recours à l'hydrogène, aux biocarburants, propulsion électrique (usage du potentiel énergétique du vent pour motoriser un navire), etc.), tout en encourageant le développement des circuits courts. Ces préoccupations font écho à l'action de l'Organisation maritime internationale visant à réduire la teneur en soufre des carburants classiques et à inciter à l'utilisation de carburants de substitution pour le transport maritime international.

7.5

RÉINVENTER LA GOUVERNANCE PORTUAIRE ET TISSER (OU APPROFONDIR) LES LIENS AVEC LES VILLES

Pour mener à bien ses projets de transition énergétique, l'autorité portuaire doit stabiliser des relations fortes avec les villes et agréger différents acteurs [129]. Cette exigence opère à deux niveaux [130][131] : (1) une construction des relations entre l'autorité portuaire et les acteurs économiques qui opèrent sur le port (par ex. les entreprises sur le foncier du port, l'Union Maritime, la CCI) ; (2) la mise en place d'une gouvernance portuaire plus élargie [132]. Tandis que le premier processus renvoie surtout à des rapports de force qui se jouent au sein des instances de gouvernance d'un port, le deuxième concerne le montage des démarches collectives, pour tisser des liens avec la ville et/ou le territoire local (par ex. *via* des projets et la rédaction de stratégies).

L'adhésion des collectivités territoriales au projet portuaire est indispensable pour co-construire une transition énergétique légitime qui s'inscrit dans un projet de territoire. Comme le souligne la littérature scientifique, la transition énergétique amène surtout à repenser les liens entre la ville et le port [133][134][135]. Les projets d'aménagement basés sur une économie du « tout-pétrole » et la « super-conteneurisation » mondialisée de la seconde moitié du XX^e siècle ont déconnecté à tous les niveaux la ville et le port [136], en forçant le port à sortir de son site urbain devenu trop exigu par la création de vastes zones industrialo-portuaires (ZIP) en périphérie. Les villes doivent se « re-déployer avec leur port » en encourageant la construction d'un nouveau modèle ville/port intégrationniste [137][138][139]. La démarche d'écologie territoriale est en effet un moyen pour les villes et les ports de mieux cohabiter et de tirer un avantage des processus globaux [140].

Les quatre ports commerciaux en NA poursuivent cette démarche, même si nous pouvons observer des différences en termes de trajectoire. Avec le port de Bayonne, le port de La Rochelle nous apparaît comme l'écosystème industrialo-portuaire néo-aquitain où la reconexion ville-port est le plus abouti (CODEV de La Rochelle, 2020). Ce port se déclare motivé pour dégager une valeur pour le territoire en lien avec ses projets économiques - une ambition favorisée par une culture locale historiquement tournée vers l'innovation et l'expérimentation et de plus en plus incarnée dans une logique de développement durable. La ville et le port se sont ainsi rapprochés et les relations aujourd'hui tourment en particulier autour d'une démarche de transition écologique et énergétique. Le montage et la mise en œuvre du projet « Territoire Zéro Carbone » (TZC) a notamment créé un partenariat mixte public/privé entre le port, l'Agglomération, l'Université et Atlantech. Il a fédéré un ensemble d'acteurs économiques de la société civile autour des grands objectifs de : (1) réduire les émissions carbonées sur un territoire élargi ; (2) séquestrer du carbone *via* les projets de restauration écologique des zones humides et/ou de reforestation. Le projet porte la dynamique de transformation du territoire métropolitain et de l'écosystème industrialo-portuaire et permet aux acteurs publics et aux entreprises de travailler de manière stratégique autour d'un objectif commun de décarbonation. L'agglomération ambitionne ainsi de devenir le premier territoire littoral urbain français à atteindre la neutralité carbone en 2040. Cela passe notamment par une baisse de la consommation d'énergie de 20 % et une augmentation de la part des énergies renouvelables de 10 % à 33 % dans le mix énergétique d'ici à la fin de la décennie.

Le port de Bayonne a aussi travaillé avec l'Agglomération et la CCI (concessionnaire portuaire) pour assurer de bonnes relations ville-port et le maintien d'un climat social sain opérant dans le port lui-même. Or, l'intégration du port de Bayonne dans son environnement est un des enjeux majeurs relevé par le Schéma Directeur d'Aménagement (axe 3) de 2013, document de référence pour la planification urbaine assurant une intégration ville-port. Les préoccupations communes à la ville et au port sont le développement économique et la gestion environnementale. Par contraste avec le port de La Rochelle qui a un statut de GPM, l'intégration port-ville à Bayonne s'inscrit plutôt dans une logique de décentralisation territoriale où des relations rapprochées entre les élus (Agglomération, Département, Région) sont mises en avant dans une convention de partenariat « visible et lisible par tout le monde ». En fait, à Bayonne, le travail politique autour des relations ville-port est au cœur du montage du « projet énergétique vitrine » autour du houlomoteur.

À Bordeaux, la déconnexion ville/port s'est accélérée en 2009 avec l'abandon du projet de terminal méthanier sur la commune de Verdon-sur-Mer pour des motifs environnementaux. On a observé une longue période de perte de confiance entre acteurs privés et publics (par ex. la démission collective de Conseil de développement) et le sentiment de la part des acteurs économiques de ne pas être associés à la gouvernance portuaire. Une nouvelle direction a été donnée aujourd'hui avec une réorientation stratégique des activités industrielles du port vers Bassens et Ambes (hydrogène, biométhane, carburants alternatifs et molécules décarbonées). Ces projets énergétiques se situent dans la métropole bordelaise, et à ce titre, ils doivent se construire à une échelle de gouvernance métropolitaine. Au Verdon-sur-Mer, cependant, le port a adapté sa stratégie de transition et de réindustrialisation en la reliant à un projet de production salmonicole (saumons et truites) (250 emplois sont prévus), projet qui a le soutien des collectivités locales, mais qui est critiqué pour ses impacts environnementaux (une association citoyenne s'est constituée en collectif pour s'opposer à ce projet). Pour toutes ces raisons, la reconexion ville-port reste complexe pour ce port divisé sur plusieurs sites et communes tout au long de l'estuaire de la Gironde.

Enfin, à Rochefort-Tonnay, les relations ville-port sont en train d'être renouées, un processus facilité par la création d'un Syndicat Mixte du Port, à la suite de la Loi NOTRe de 2017, et la reconstruction du territoire local. Dans ce travail, la mise en valeur du site portuaire et surtout les espaces ville-port, cherche à augmenter la visibilité de l'attractivité du port pour la ville [141].



©Olivier BENOIT - Port Atlantique La Rochelle

1. Avec ses 8 500 kilomètres de voies navigables, rappelons ici que la France dispose du plus grand réseau européen de canaux, de fleuves et de rivières, mais il est le moins utilisé d'Europe. La part du mode fluvial représente entre 30 et 40 % aux Pays-Bas et en Belgique contre seulement 3 % en France.

7.6

BIEN INTÉGRER LES POPULATIONS LOCALES DANS LES NOUVEAUX PROJETS ÉNERGÉTIQUES

Les ports sont à forte intensité capitalistique et foncière, et sont porteurs d'externalités négatives. Bien que les ports aient réalisé ces dernières années des évaluations environnementales désormais publiées et accessibles au grand public sur le site de l'Atmo (Port de Bordeaux, 2018 ; Port de La Rochelle, 2021 ; Port de Bayonne, 2022), ils sont souvent perçus comme des générateurs de nuisances. Dans ce contexte, le fait d'avoir resserré les liens avec les villes ne suffit pas pour légitimer les projets de transition, car il s'agit souvent des relations institutionnelles, alors qu'il subsiste des tensions importantes entre les ports et les populations vivant dans les quartiers riverains au sujet des pollutions et nuisances (de l'air, nuisances, bruits, odeurs, etc.) [142]. Des extensions portuaires ou des choix de zones pour mener à bien des projets énergétiques ont fait l'objet de contestations diverses. Il est donc important de parler directement aux citoyens par-delà des relations institutionnelles ville-port.

Cet enjeu (le 5^e) se présente comme un des indicateurs les plus importants pour l'ESPO [143]. Le renforcement des liens avec les citoyens peut permettre d'améliorer l'image parfois négative des activités portuaires auprès du public et de résoudre les potentiels conflits d'usage sur le littoral [144]. Pour répondre à ces enjeux, les ports adoptent en général deux solutions : la pédagogie et la démocratie participative.

Des projets de Ports Center, structures portées par l'Association internationale villes et ports (AIVP), sont en cours à La Rochelle et à Bordeaux, en tant que lieux d'éducation et de rencontres entre le port et les habitants de la ville. Ces derniers doivent permettre aux ports maritimes de modifier leur image vis-à-vis de la population en accentuant leur importance sur le territoire [145]. Le territoire portuaire se révèle en effet un formidable terrain d'expérimentations de nouvelles pratiques fondées sur une plus grande coopération entre les acteurs territoriaux. Dans cette logique, le port devient un ou-

til au service de la collectivité en phase avec les besoins locaux. Par exemple, le port de La Rochelle a développé une démarche de responsabilité sociétale depuis 2015¹. S'appuyant sur les initiatives de collaboration entre le Québec et la Région Nouvelle-Aquitaine, les ports pourraient partager leurs expériences avec le port de Montréal qui a aussi mis en place dès 2014 « un comité de bon voisinage » composé de citoyens, de groupes environnementaux et d'organismes locaux actifs « pour s'assurer d'une cohabitation harmonieuse avec le voisinage ».

L'industrie de la croisière connaît une croissance exponentielle. Néanmoins, elle est aujourd'hui montrée du doigt pour ces problèmes de pollution (l'intérêt du croisiériste est d'arriver au cœur des villes qui causent des nuisances environnementales), critiques souvent portées par des associations d'habitants et des élus locaux. Les débats autour des navires de croisière témoignent d'une tension entre la reconnaissance du rôle stratégique du port (les escales participent à une valorisation du commerce urbain) et la pression résidentielle et environnementale. À titre d'exemple, un comité de pilotage doit être créé prochainement à La Rochelle pour évaluer l'impact environnemental du tourisme de croisière et voir comment celui-ci peut cohabiter avec les exigences zéro carbone affichées par la métropole. La pression citoyenne (encouragée par le phénomène de gentrification des centres urbains) se fait plus forte quant à la pollution de ces navires à quai et aux nuisances visuelles.



©Thierry RAMBAUD / Port Atlantique La Rochelle

1. Le port de La Rochelle a élaboré deux chartes de développement durable décrivant les conditions d'acceptabilité du développement de ses activités. Les Journées européennes du patrimoine offrent aussi aux ports des occasions de communication avec les concitoyens.

CONCLUSION

LA FRAGILITÉ DES PROJETS, ENTRE TEMPORALITÉ ET GOUVERNANCE

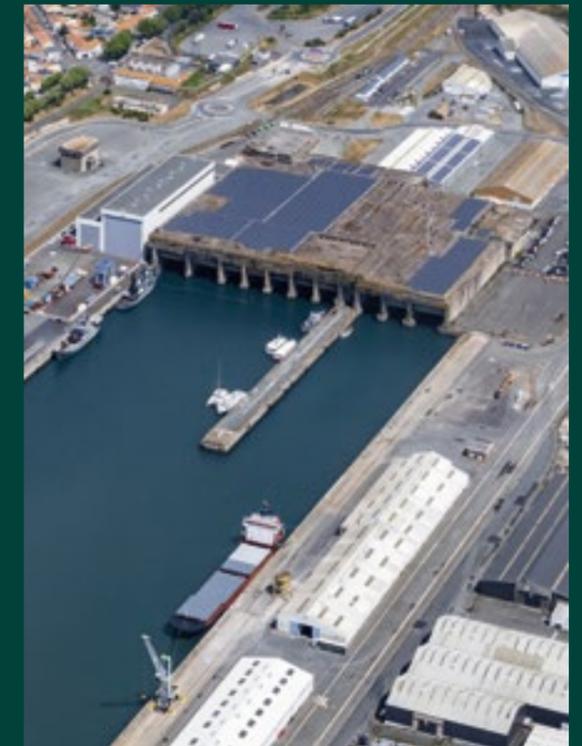
En conclusion, il est important de penser la transition énergétique des « différents écosystèmes portuaires » plutôt que « des ports » néo-aquitains. La transition oblige à tous d'avoir une vision holistique de l'enjeu énergétique. Même si on observe un travail politique important mené par les autorités portuaires et les acteurs économiques de la place portuaire pour réduire les risques de leurs projets vitrines et faire fonctionner des modes de gouvernance propices à leur mise en œuvre, ces projets restent néanmoins fragiles.

L'éloignement géographique du projet éolien *offshore* d'Oléron va avoir des retombées sur le coût d'investissement du projet et potentiellement sur son horizon temporel. Pour Bayonne, le projet houlomoteur, qui s'inscrit dans un projet à moyen terme, ne colle pas aux urgences climatiques et énergétiques (cf. le dernier rapport du GIEC). À Bordeaux, le projet hydrogène sur le site de Bassens est, à l'heure actuelle, jaune c'est à dire de l'hydrogène bas carbone, (voir Figure 20, Chapitre « Hydrogène » de ce cahier) pour des raisons technico-économiques. Pour que l'hydrogène soit « vert », il faut que des projets EnR de taille conséquente soient développés et que la question non-négligeable de la consommation d'eau soit réglée - dans une situation de sécheresse qui va s'accroître¹.

Beaucoup se joue autour de l'évolution incertaine des technologies et de leur capacité à répondre aux exigences du marché de l'énergie (hydrolien et houlomoteur). Mais les choix de zonage et les controverses sociales entrent aussi en jeu, du fait que la vision territoriale concernant la forme de production énergétique à privilégier dans la région n'est pas encore stabilisée.



©Thierry RAMBAUD / Port Atlantique La Rochelle



©Yann WERDEFROY - Port Atlantique La Rochelle

La Nouvelle-Aquitaine a un fort potentiel dans le secteur des EMR (720 kilomètres de côtes) mais est très en retard par rapport aux autres régions littorales françaises (le plus faible nombre d'emplois en matière d'EMR selon le dernier rapport de l'Observatoire des énergies de la mer). Or, au regard des ambitions nationales (50 parcs éoliens marins d'ici 2050) et des objectifs régionaux affichés (100 % EnR d'ici 2050 dans le SRADDET), une accélération dans ce domaine paraît inévitable.

1. Selon la communication du port de Bordeaux, sur la Presqu'île d'Ambès, l'eau utilisée sera issue du réseau d'eau industrielle opéré par Bordeaux Métropole et ne sera pas en concurrence avec l'eau potable.
2. Notons d'ailleurs l'intervention commune du Port de Bordeaux et du Territoire d'Industrie Pau-Lacq-Tarbes au salon HyVolution 2022 sur le sujet de l'hydrogène : https://www.youtube.com/watch?v=9k2_N6w0mW0

8

Communautés énergétiques

8.1

CONTEXTUALISATION : L'ÉNERGIE, L'EUROPE ET LES RÉGIONS

Le changement climatique constitue une illustration emblématique d'une « communauté involontaire de risques »¹ [147] analysée comme la « face obscure » de la mondialisation du modèle économique occidental. À ces méfaits, répondent des mobilisations sociales à cheval sur la sphère économique et la sphère politique. La décennie 2010 est ainsi marquée par le déploiement en France d'initiatives revendiquant une prise en charge directe et démocratique d'infrastructures locales de production voire, plus rarement, de consommation d'EnR [148][149]. Les acteurs individuels s'engagent dans des collectifs de citoyens [150][151] au cœur de la sphère économique. Émergentes en France, ces organisations, plus anciennes dans d'autres pays (Allemagne, Danemark, Suisse, Nouvelle-Zélande, etc.), sont parvenues à se fédérer et obtenir une reconnaissance légale au niveau européen. L'UE peut-elle jouer un rôle sinon de modèle du moins de laboratoire juridique dans l'avènement d'un « contrat social (et naturel) global »² [152][153] ? N'est-elle pas dotée d'une « Constitution économique »³ [154] [155], soit un ensemble de règles destiné à orienter l'économie ?

8.1.1 CHANGEMENT CLIMATIQUE ET MONTÉE EN PUISSANCE DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

C'est ce mécanisme qui est à l'œuvre dans le complexe domaine de l'énergie (Figure 25). Le vieux couple Europe-énergie (formé en 1951 avec le charbon) constitue une expérience de cette implantation de l'intérêt général au cœur du marché. Le traité de Lisbonne, adopté en 2009 atteste de l'intrusion d'un nouvel élément : l'environnement⁴. Le développement des EnR, dans la première décennie du XX^e siècle, va accompagner (plus que supplanter) le mouvement de dénationalisation à l'œuvre en Europe : à la « vague de marché » des années 1990 succède la « vague verte » des années 2010 [156].

L'augmentation de la part des EnR dans le mix énergétique global promu par la loi⁵ n'est pas sans aiguïser l'intérêt de certains groupes privés, ces derniers cherchant à capter les segments rentables de ce marché complexe (Les âpres négociations en 2020 autour du projet Hercule, qui prévoyait le découpage et la concession des pans rentables de l'entreprise publique, ont néanmoins été abandonnées [157]).

La Région Nouvelle-Aquitaine, érigée depuis 2015 au rang de cheffe de file de la transition énergétique par le droit français, se place au 5^e rang en termes de production, avec une part non négligeable d'énergie photovoltaïque, et couvre ainsi 23 %

de ces besoins. L'engagement de la région va prendre forme en 2019 via la finalisation de son Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) et le vote de la feuille de route NéoTerra [103]. Parmi les onze ambitions, deux s'attachent particulièrement à la question énergétique et à la place accordée aux citoyens. Il s'agit en effet de s'appuyer sur les dynamiques en cours qui tentent de se réapproprier cet objet à la fois politique et économique. L'adhésion des habitants, des entreprises et des institutions publiques aux énergies renouvelables serait facilitée par l'idée, pourtant discutable, que le territoire est par essence facteur de cohésion [158].

8.1.2 LES « COMMUNAUTÉS ÉNERGÉTIQUES » : UNE EFFERVESCENCE LÉGISLATIVE... QUI TRADUIT DES PROBLÉMATISATIONS DIVERSES

La dernière décennie est marquée par une effervescence législative et réglementaire autour de deux questions distinctes : la transition vers les énergies renouvelables d'une part, et la dimension citoyenne d'autre part. Ce deuxième axe a été promu avec un certain succès auprès des pouvoirs publics par les acteurs fédérés à l'échelon régional (CIRENA pour la Nouvelle-Aquitaine), à l'échelon européen (RESCoop) en passant par l'échelon national (Énergie Partagée et Enercoop ; cf. encadré) associés à des ONG environnementalistes au sein du *Collectif pour l'énergie citoyenne*. La France devient le premier pays européen à mettre en place, dès 2015, une politique de soutien au travers des « bonus participatifs » [159].

Ce double processus de problématisation (transition et citoyenneté) mis à l'agenda public [160] a conduit à la transcription, dans la Loi énergie-climat du 8 novembre 2019, des directives européennes (UE) 2018/2001 (relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables) et (UE) 2019/944 concernant des règles communes pour le marché intérieur de l'électricité. L'ordonnance n° 2021-236 du 3 mars 2021 entérine une double qualification du phénomène avec d'un côté les « communautés d'énergie renouvelables » (CER) et d'un autre côté des « communautés énergétiques citoyennes » (CEC). Par un étonnant retournement, les CER vont davantage correspondre aux attendus des acteurs militants pour une appropriation démocratique des infrastructures et des ressources locales [161].

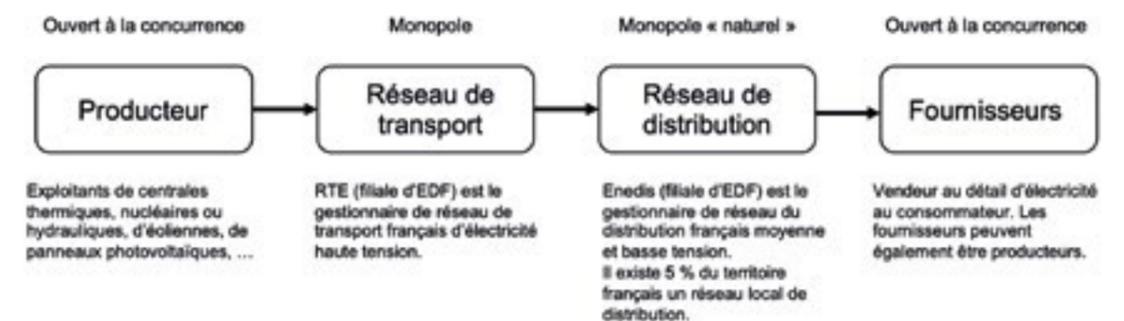


Figure 25 : La chaîne de l'électricité : les étapes du marché gérées par des acteurs publics ou privés

1. Il s'agit du crime organisé ou encore de risques environnementaux tels que le changement climatique selon la formule de [147] Jürgen Habermas (2000).

2. Nous prendrions la liberté de fusionner ces deux formules dont la paternité revient à deux philosophes bien connus : [152] Turpin (2003) et [153] Serres (1990).

3. Parmi une bibliographie abondante, voir [154] sans oublier l'article pionnier en France : [155] L.-J. Constantinesco (1977).

4. L'Union s'engage à « promouvoir (...) le développement des énergies nouvelles et renouvelables » en vertu de l'article 194, § 1er, alinéa c) TFUE.

5. Loi Transition Énergétique pour la Croissance Verte d'août 2015 via être suivie par la loi Énergie-Climat adoptée en novembre 2019 et renforcée par les décrets de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) et de la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) parus en avril 2020.

ENERCOOP NOUVELLE-AQUITAINE

Enercoop Nouvelle-Aquitaine est une coopérative régionale de fourniture et de production d'électricité d'origine renouvelable et locale, qui réunit aujourd'hui près de 3000 citoyens. Elle permet aux particuliers, aux professionnels comme aux collectivités de se fournir en électricité d'origine renouvelable grâce à un approvisionnement en circuit-court auprès de producteurs locaux, tout en les invitant à devenir eux-mêmes producteurs de leur propre énergie. En tant que coopérative d'intérêt collectif (SCIC), issue du champ de l'économie sociale et solidaire, son capital et sa gouvernance sont ouverts à toutes et tous. Cette épargne solidaire qui constitue le capital d'Enercoop Nouvelle-Aquitaine, contribue à renforcer l'indépendance énergétique de la région tout en permettant une maîtrise citoyenne et locale de la production d'énergie en France. Enfin, à travers son bureau d'études coopératif, Enercoop Nouvelle-Aquitaine propose divers services d'accompagnement technique et d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) pour les entreprises et collectivités désirant développer leurs propres projets de production d'énergies renouvelables (vente totale, autoconsommation individuelle, autoconsommation collective...). La coopérative accompagne également les particuliers dans leur projet d'autoconsommation solaire individuelle, en partenariat avec des installateurs locaux, membres de la coopérative. Pour en savoir plus : www.enercoop.fr/nouvelle-aquitaine.

Actuellement, la hausse historique du prix de l'énergie – due aux incertitudes sur l'approvisionnement européen en gaz (avec le potentiel embargo européen sur le gaz russe) et par les annonces d'EDF sur la revue à la baisse de la disponibilité du parc nucléaire sur les années à venir – conduit Enercoop à revoir sa stratégie initiale de non-recours à l'ARENH (Accès Régulé à l'Électricité Nucléaire Historique), mécanisme qui permet aux fournisseurs d'acheter à EDF de l'électricité nucléaire à bas coût. Ce choix en cohérence avec ses convictions a contraint Enercoop à acheter sur les marchés à un prix très élevé. C'est pourquoi le Conseil d'Administration s'est prononcé en faveur de l'ARENH en 2023, choix lors de l'Assemblée générale du 18 juin 2022. Cet expédient est une solution temporaire, visant à traverser la crise énergétique, sans trop s'éloigner des prix pratiqués par les autres fournisseurs et sans pour autant porter atteinte au projet de profonde transformation que porte Enercoop depuis ses débuts.

8.2

LA NOUVELLE-AQUITAINE À L'ÉPREUVE : UNE CITOYENNETÉ RAVALÉE AUX MÉCANISMES DU MARCHÉ ?

La Nouvelle-Aquitaine est confrontée aux ambivalences d'une politique qui en appelle à la fois au citoyen et à l'agent économique pour générer des comportements vert...ueux ! L'entrée en scène du citoyen aux côtés du producteur et du consommateur (de l'homme oeconomicus) a vocation à favoriser l'acceptabilité sociale. Dès lors, ces instruments sont censés faciliter la pénétration de ces énergies sur le marché, notamment à l'échelle locale. Pourquoi un dispositif bicéphale ? L'homme oeconomicus (investisseur, consommateur), agi par son intérêt personnel, ne va-t-il pas prendre le pas sur le citoyen, conduit par l'intérêt de tous ? Ce nouvel avatar de l'utopie de l'autonomie (ici, énergétique, alimentaire ailleurs) est-il soluble dans le marché ? L'appropriation démocratique est-elle au rendez-vous ? Nous allons souligner ci-après les quatre grandes ambiguïtés de ces politiques publiques.

8.2.1 DES « PETITS » PROJETS CITOYENS FACE À DES OBJECTIFS MASSIFS

Alors que les régions sont entrées dans une forme de compétition pour la production d'EnR, les projets citoyens d'énergie sont sommés de démontrer leur légitimité et leur efficacité. Les modèles de petites structures orientées vers des logiques de besoin et d'autoconsommation sont moins valorisés que ceux répondant aux principes d'accumulation, inscrits dans une logique plus classiquement entrepreneuriale de l'offre.

Pis, au regard des ambitions affichées en termes de production par la région, les formats des projets citoyens tels qu'ils existent actuellement ne peuvent faire le poids face

aux gros acteurs du secteur. En d'autres termes, bénéficiaire du fonds d'investissement Terra Énergies implique des capacités d'investissement importantes auxquelles les petits porteurs de projets ne peuvent avoir accès¹. La Nouvelle-Aquitaine vise en effet à produire « 57 450 GWh verts par une généralisation des énergies renouvelables matures et la montée en puissance des technologies en développement » couplé à la volonté d'« impulser, accompagner et suivre la réalisation de grands projets de production d'énergies renouvelables avec des capacités importantes » [103] (p. 86). Si actuellement, les initiatives citoyennes sont bien loin de réaliser de telles performances, le choix de massification affiché pose en creux la manière dont la région souhaite atteindre ces objectifs et la nature et le format des acteurs favorisés. Cela n'est pas sans conséquence...

8.2.2 DE LA VOLONTÉ À LA MISE EN ŒUVRE : NON-ACCEPTATION SOCIALE, COÛT D'ENTRÉE ET CONDITIONS DE PARTICIPATION

Le développement des projets de centrales éoliennes² soulève de la contestation de la part d'habitants, d'associations d'opposants et de collectifs divers d'acteurs (professionnels du tourisme, chasseurs, défenseurs du patrimoine). Les conflits sont souvent analysés en tant que problèmes d'« acceptation sociale » [162]. Sont en effet pointés du doigt, le manque de transparence, l'absence de retombées directes pour les communes subissant le plus les nuisances et l'inscription dans le « green business » de projets qui

1. Pour faire face à problème, à l'œuvre dans toutes les régions, un outil de financement, EnRciT, géré par Energie Partagée, a été doté de 10 millions d'euros avec le soutien de l'ADEME, de la Caisse des Dépôts, du Crédit coopératif et d'IRCANTEC. EnRciT co-investit aux côtés des citoyens et des autres actionnaires pour apporter les moyens financiers nécessaires à la sécurisation de la phase de développement de projets photovoltaïques et éoliens supérieurs à 1 MW.

2. Si l'ancienne Région Aquitaine ne compte à l'heure actuelle que très peu de centrales terrestres, en revanche l'ancien Poitou-Charentes fait office de « très bon élève » de la promotion des énergies renouvelables. Ainsi à lui seul, le Département des Deux-Sèvres concentre la moitié de la production électrique d'origine éolienne de toute la région. À l'asymétrie évidente, qui confine même dans le cas deux-sévriens à la saturation socio-spatiale (notamment dans la zone frontalière entre Deux-Sèvres et Vienne), s'oppose une exceptionnalité qu'incarne le conflit autour du projet d'EDF-Renouvelables de centrale éolienne dans le Blayais à proximité de la centrale nucléaire, à cheval entre Gironde et Charente-Maritime.

poursuivraient davantage la recherche de profits qu'une véritable lutte contre l'épuisement des énergies fossiles et le dérèglement climatique. L'une des « solutions » proposées pour réduire la portée agonistique des projets consiste à favoriser la constitution des « communautés énergétiques » en augmentant la participation de citoyens ordinaires dans le déploiement local des centrales. Elle peut porter soit sur les montages financiers des projets (ouverture du capital et des dividendes aux particuliers ou associations) soit sur les modalités de la gouvernance des installations [163]. Outre la diminution de la conflictualité sociale, c'est l'(auto)-accréditation des opérateurs privés de l'énergie qui est visée. Mais, si l'éolien citoyen permet d'intéresser, au sens matériel du terme, des habitants, son absence de systématisme et ses fluctuations importantes dans ses contours (dont semblent surtout tirer profit des groupes sociaux déjà aisés) ne permettent pas d'observer une réduction drastique du niveau de la protestation locale [164].

Arrêtons-nous un instant sur le coût d'entrée : les dispositifs mis en place posent question quant à l'accessibilité sociale. En effet, la manière dont se détermine le montant minimum à investir (qui peut monter à 50 €, voir 250 €) peut renvoyer à deux hypothèses [161]. La première pourrait se définir en ces termes : le fait d'investir une somme relativement importante révèle un fort niveau d'engagement. Mais une seconde option nous paraît plus probable : les sociétés d'énergies citoyennes ont été composées à l'origine par des membres dont le profil sociologique les place dans les catégories aisées de la population [165]. Ils vont, malgré eux, opérer un processus de sélection parmi les citoyens qui s'engagent [166][167]¹.

Enfin, l'entrée au capital de la collectivité, pour des sommes qui dépassent de loin la capacité individuelle, soulève des débats entre les élus. Ils portent sur la légitimité de la participation financière dans des sociétés privées, aussi « citoyennes » soient-elles. Ce qui est en cause concerne le contrôle d'un secteur stratégique : peut-on laisser la maîtrise des énergies renouvelables et de leur gouvernance aux mains de citoyens non professionnels ? [161].

8.2.3 DES CAPITAUX FAIBLEMENT RÉTRIBUÉS POUR LE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES... JUSQU'À QUAND ?

Yildiz [168] souligne la faiblesse conceptuelle de la « participation citoyenne » (L'utilisation du terme « citoyen » en tant qu'adjectif constitue en principe un abus de langage celui-ci étant un nom commun, l'adjectif correspondant étant « civique » [169]). En dépit de diverses tentatives de caractérisation de ces entreprises et de la transcription dans la loi, les contours de ces « entreprises citoyennes » restent flous et les facteurs favorisant la participation « citoyenne » des actionnaires, peu étayés.

Actuellement, on observe que les structures, même lorsqu'elles n'en ont pas les statuts, fonctionnent le plus souvent sur le modèle des coopératives de l'Économie Sociale et Solidaire, sur le principe « un homme = une voix » indépendamment du nombre et du montant des actions détenues. Si la mobilisation des acteurs d'un territoire se réalise par le levier de l'actionnariat, la participation se réalise toutefois à l'aune d'un projet collectif et politique. Trois modalités d'affectation sont évoquées : la distribution des dividendes aux actionnaires, le financement d'autres projets photovoltaïques, le financement d'autres actions (dans le domaine énergétique ou dans d'autres secteurs). S'il n'est pas possible de connaître aujourd'hui le comportement des acteurs de la « deuxième génération », en termes de rétribution de leurs parts sociales,

nous savons que l'émergence de tels projets repose sur le recrutement de « citoyens militants », par ailleurs multi-investis dans des projets de territoire. De ce point de vue, ceux qui s'engagent en tant que « simples » citoyens ou citoyens-élus ne sont pas animés par la logique de l'intérêt individuel. Outre le bénévolat de quelques personnes très motivées (avec parfois mais rarement du salariat), la majorité des membres agit en qualité d'actionnaires et/ou de bailleurs de toits. C'est donc à travers la mobilisation de son capital financier (l'épargne) ou matériel (le fait de posséder en propre un bien immobilier) que le « citoyen » est intéressé à participer et, paradoxalement, sans qu'une contrepartie financière ne soit pour autant versée. Les structures fixent également un plafond d'actions qui peuvent être détenues par les membres afin de garder un fonctionnement le plus horizontal possible et éviter des « chantages à l'argent ». Mais qu'en sera-t-il à l'avenir ?

Le risque de voir la relation glisser vers un rapport marchand est important. Et la question de l'égalité des membres peut vite devenir problématique. Que ce soit les dividendes ou de la location des toits, les premiers adhérents auront accepté les conditions initiales du projet : mise à disposition quasi-gratuite de l'espace d'installation et faible rétribution des actions. Or, qu'en sera-t-il des comportements des agents lorsque la perspective de dividendes, d'une part, et la rémunération des toits, d'autre part, attireront de nouveaux investisseurs ? En participant aux assemblées générales, ils pourront aisément modifier les règles du jeu, reverser l'ensemble des bénéfices distribuables et ne plus avoir pour objectif ce qui constitue son objet social. En Allemagne, des élus qui participent de longue date à la gestion d'une coopérative énergétique déplorent ainsi que la logique de l'intéressement individuel ait progressivement pris le pas sur le principe d'intérêt général [170].

CONCLUSION

L'orientation des politiques publiques, désormais décentralisées, soutenues par les organismes de plaidoyers en faveur des EnR portés par et pour les territoires donnent leur préférence aux modèles de production massive. Ce faisant, à moyen terme, le rôle de ces structures dans leur fonction de sensibilisation à la sobriété énergétique et d'acceptabilité sociale des infrastructures nécessaires à la production d'énergies renouvelables risque d'être négligé. Leurs actions, à l'instar d'une entreprise classique, seront essentiellement axées vers la recherche de fonds, l'installation de centrales et la négociation de nouveaux contrats en raison de leur insertion sur le marché classique. La réalisation de projets de taille relativement importante par le regroupement d'initiatives, au détriment d'un essaimage de microstructures sur le territoire, pose la question de leur capacité à long terme à maintenir une dynamique citoyenne.

En définitive, les projets citoyens, encensés dans les discours, représentent une part très marginale dans la production d'énergies renouvelables (23 millions d'euros d'investissement pour les structures adhérentes du réseau CIRENA) [171]. Les fonds d'investissement, auxquels les petits porteurs de projets ne semblent pas avoir accès, s'adressent à de gros porteurs de projets qui peuvent par ailleurs obtenir facilement le libellé de « projets citoyens », l'actionnaire et le citoyen se confondant. On peut dès lors légitimement affirmer que l'accent mis sur le volume favorise une logique d'efficacité et d'offre antagonique avec la nécessité de sobriété et d'économie d'énergie au cœur de la transition écologique.

1. A partir du même constat, une entrée à 50 €, dans les coopératives allemandes, Brummer (2018) [167] propose une interprétation opposée, affirmant que le montant est assez bas pour être accessible à tous.

Conclusion

La transition énergétique représente un enjeu majeur pour les acteurs publics mais aussi pour les chercheurs. Comment bifurquer rapidement, efficacement et collectivement ? Comment bâtir une transition acceptable et acceptée par les territoires et leurs habitants ?

Pour répondre à ce défi majeur, il semble aujourd'hui nécessaire de sortir des logiques disciplinaires et de favoriser les collaborations entre les chercheurs et les acteurs sociétaux afin de co-produire des connaissances et des instruments d'action publique efficaces. L'objectif de ce cahier thématique consacré aux énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine était d'y contribuer. Il n'a pas de prétention à l'exhaustivité sur le sujet et ne saurait épuiser le sujet.

Les acteurs doivent s'adapter à des contextes qui ne cessent d'évoluer dans un créneau temporel qui ne cesse de rétrécir (2050, c'est demain). Pour atteindre l'objectif de neutralité carbone, le développement de toutes les énergies renouvelables, matures et plus émergentes (comme l'hydrogène), est nécessaire. La transition énergétique suppose une approche pluri-technologiques, à la croisée des politiques énergétiques, des politiques industrielles et des politiques de R&D.

Dans son ouvrage « Le Choix du feu : Aux origines de la crise climatique », Alain Gras dresse les jalons d'une histoire de l'énergie, qui n'est pas seulement un phénomène technologique, politique ou économique, mais avant tout « un fait social total ». La transition énergétique ne pouvant donc se limiter à un simple défi technologique, la place des sciences sociales semble de plus en plus cruciale. L'appropriation ter-

ritoriale et citoyenne des énergies renouvelables représente un enjeu essentiel si on souhaite leur développement d'une façon démocratique, apaisée et territorialisée.

En effet, le constat de la nécessité des énergies renouvelables ne doit pas cacher la réalité des résistances et des blocages multiples. En bousculant à la fois les habitudes des activités traditionnelles (les activités maritimes ou agricoles par exemple), nos représentations culturelles (le mât d'éolien nous rappelle que la transition énergétique est aussi une transition paysagère) et l'inertie du système énergétique (organisé notamment autour de l'électronucléaire), les énergies renouvelables engendrent des controverses obligeant à un effort d'imagination pour concevoir les processus d'innovation et les instruments d'action publique nécessaires pour les réguler. La médiation socio-technique a donc un rôle déterminant à jouer pour accompagner les territoires et les élus dans ces changements.

De plus, ce déploiement massif des énergies renouvelables est cohérent si, d'une part, il est articulé avec une politique ambitieuse de sobriété énergétique, et si d'autre part, il s'accompagne d'une politique d'innovation volontariste dans le champ du stockage-énergie.

Il est important aussi d'encourager les approches collaboratives et comparatives transrégionales et transnationales, pour mieux s'approprier ce qui se fait ailleurs, en matière de transition énergétique.

Bibliographie

INTRODUCTION

[1] Ribes A., Boé J., Qasmi S., Dubuisson B., Douville H., and Terray, L., 2022. An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint, *Earth System Dynamics*, 13, 1397–1415, [Consulté en octobre 2022] <https://esd.copernicus.org/articles/13/1397/2022/esd-13-1397-2022.html>.

L'ÉOLIEN TERRESTRE, UNE ÉNERGIE D'AVENIR POUR LE TERRITOIRE NÉO-AQUITAINE

- [2] AREC - OREGES - L'éolien [Consulté en septembre 2022]. <https://oreges.arec-nouvelleaquitaine.com/energies-renouvelables/eolien>.
- [3] Bilan électrique 2021 en Nouvelle-Aquitaine [Consulté en septembre 2022]. <https://www.rte-france.com/actualites/bilan-electrique-2021-nouvelle-aquitaine>.
- [4] Un pacte vert pour l'Europe [Consulté en septembre 2022]. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr.
- [5] Pacte vert et paquet climat : l'UE vise la neutralité carbone dès 2050 [Consulté en septembre 2022]. <https://www.vie-publique.fr/eclairage/272297-pacte-vert-et-paquet-climat-lue-vise-la-neutralite-carbone-des-2050>.
- [6] Ordonnance n° 2021-235 portant transposition du volet durabilité des bioénergies [Consulté en septembre 2022]. <https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000043212476/>.
- [7] EU overachieves 2020 renewable energy target [Consulté en septembre 2022]. <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220119-1>.
- [8] En application de la loi sur la nouvelle organisation territoriale [Consulté en septembre 2022]. <http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/schema-regional-d-amenagement-de-developpement-r4426.html>.
- [9] *Éolien terrestre*, P 19. [Consulté en septembre 2022] <http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/eolien-terrestre.pdf>.
- [10] ADEME Presse : Sondage Harris interactive : Les Français et l'éolien. [Consulté en septembre 2022]. <https://presse.ademe.fr/2021/10/sondage-harris-interactive-les-francais-et-leolien.html>.
- [11] L'opposition aux projets éoliens terrestres, une forme de contestation « territorialisée ». OpenEdition Journals. [Consulté en septembre 2022]. <https://journals.openedition.org/gc/15126>.
- [12] Les Français et l'énergie éolienne – vague 2. Harris interactive. [Consulté en septembre 2022] <http://harris-interactive.fr/wp-content/uploads/sites/6/2021/01/Rapport-Harris-Les-Français-et-l'énergie-éolienne-Vague-2-France-Energie-Eolienne.pdf>.
- [13] Code de l'environnement [Consulté en septembre 2022]. <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006074220/>.
- [14] Mettre en œuvre la séquence « éviter-réduire-compenser », OFB [Consulté en septembre 2022]. <https://www.ofb.gouv.fr/mettre-en-oeuvre-la-sequence-eviter-reduire-compenser>.
- [15] Éolien terrestre, Ministère de la transition écologique et de la Cohésion des territoires. [Consulté en septembre 2022]. <https://www.ecologie.gouv.fr/eolien-terrestre>.
- [16] Crowdfunding : 185 M€ pour la transition énergétique, GreenUnivers [Consulté en septembre 2022]. <https://www.greenunivers.com/2022/05/crowdfunding-185-me-investis-dans-la-transition-energetique-en-2021-288987/>.
- [17] Le label financement participatif, Ministère de la transition écologique et de la Cohésion des territoires [Consulté en septembre 2022]. <https://www.ecologie.gouv.fr/label-financement-participatif>.
- [18] Plüm énergie et VALOREM nouent un partenariat exclusif pour la fourniture de l'électricité produite par le parc éolien de Saint Père Énergies [Consulté en septembre 2022]. <https://www.valorem-energie.com/plum-energie-et-valorem-nouent-un-partenariat-exclusif-pour-la-fourniture-de-lelectricite-produite-par-le-parc-eolien-de-saint-pere-energies/>.
- [19] Dans la Marne, ENGIE propose une offre d'électricité verte réservée aux riverains d'un nouveau parc éolien [Consulté en septembre 2022]. <https://www.engie-green.fr/actualites/marne-electricite-verte-parc-eolien/#:~:text=ENGIE%20propose%20C3%A0%20tous%20les,un%20prix%20du%20kWh%20fixe>.
- [20] Observ'ER Perspectives #2 : projets citoyens, l'énergie près de chez vous. mai 2022 [Consulté en septembre 2022]. <https://coopawatt.fr/observer-perspectives-2-projets-citoyens-lenergie-pres-de-chez-vous/>.
- [21] IDDRI, Science Po. Les projets participatifs et citoyens d'énergies renouvelables en France État des lieux et recommandations [Consulté en septembre 2022]. <https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/Etude/201906-ST0319-ENR%20citoyens.pdf>.
- [22] Entretien sur la valeur locale générée par les projets de transition énergétique [Consulté en septembre 2022]. <https://cler.org/les-projets-de-transition-energetique-portes-localement-generent-une-valeur-locale-considerable/>.
- [23] Soutien au développement de projets d'énergies renouvelables [Consulté en septembre 2022]. <https://enr-osser.fr/>.
- [24] Mieux maîtriser le développement des EnR sur son territoire. Guide à l'usage des collectivités locales. Banque des territoires p. 54. [Consulté en septembre 2022]. <https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2020-11/E%20285%20Publication%20kit%20projets%20ENR%20territoriaux%20WEB.pdf>.

- [25] Opérateurs énergétiques territoriaux, Bâtisseurs d'une autonomie énergétique et territoriale [Consulté en septembre 2022]. <https://cler.org/wp-content/uploads/2017/06/Rapport-Opérateurs-énergétiques-territoriaux.pdf>.
- [26] Énergies renouvelables : deux à trois fois plus de retombées locales pour les projets citoyens [Consulté en septembre 2022]. <https://www.lagazettedescommunes.com/653888/energies-renouvelables-deux-a-trois-fois-plus-de-retombées-locales-pour-les-projets-citoyens/>.
- [27] Le vrai/faux sur l'éolien terrestre, Ministère de la transition écologique [Consulté en septembre 2022]. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/21088_VraiFaux_E%CC%81olien_terrestre%20%281%29.pdf.
- [28] Éolien : Le casse-tête du recyclage des pales, Novethic [Consulté en septembre 2022]. <https://www.novethic.fr/actualite/energie/energies-renouvelables/isr-rse/eolien-le-casse-tete-du-recyclage-des-pales-150300.html>.
- [29] 100 % Recyclable: World's Largest Thermoplastic Wind Turbine Blade Made in Spain, Offshore engineering. [Consulté en septembre 2022]. <https://www.oedigital.com/news/495107-100-recyclable-world-s-largest-thermoplastic-wind-turbine-blade-made-in-spain>.
- [30] L'impact de l'éolien sur l'immobilier est nul, selon l'ADEME, Banque des territoires [Consulté en septembre 2022]. <https://www.banquedesterritoires.fr/impact-de-leolien-sur-limmobilier-est-nul-selon-la-deme>.
- [31] Évaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens, Avis de l'Anses Rapport d'expertise collective, Édition scientifique. Mars 2017, 16 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2013SA0115Ra.pdf>.
- [32] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement [Consulté en septembre 2022]. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000024507365/#:~:text=Dans%20les%20r%C3%A9sum%C3%A9s-,Arr%C3%AAt%C3%A9%20du%2026%20ao%C3%BBt%202011%20relatif%20aux%20installations%20de%20production,la%20protection%20de%20l'environnement>.
- [33] Article L. 515-44 du Code de l'environnement [12].
- [34] Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015, LPO, juin 2017, p. 92. https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/eolien_lpo_2017.pdf.
- [35] Sierra Club. Wind turbines and birds and bats. <https://www.sierraclub.org/michigan/wind-turbines-and-birds-and-bats> [Consulté en octobre 2022].
- [36] La prédation du Chat domestique, LPO, avril 2019, p. 4. https://tarn.lpo.fr/wp-content/uploads/2020/05/FM_PredationChatDomestique-2019_Web.pdf.
- [37] Suisseéole. Un projet de recherche de l'Union européenne confirme que le milan royal et l'éolien font bon ménage, mars 2022. [Consulté en octobre 2022]. <https://suisse-eole.ch/fr/news/un-projet-de-recherche-de-lunion-europeenne-confirme-que-le-milan-royal-et-leolien-font-bon-menage/>.
- [38] Bilans ADEME [Consulté en septembre 2022]. https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?renouvelable.htm.
- [39] Schéma décennal de développement du réseau, RTE, Édition 2019, p. 56. <https://assets.rte-france.com/prod/public/2020-07/Sch%C3%A9ma%20d%C3%A9cennal%20de%20d%C3%A9veloppement%20du%20r%C3%A9seau%20-%20Edition%202019.pdf>.
- [40] Futurs énergétiques. Rapport complet, février 2022. Les scénarios de mix production-consommation. RTE p. 236. https://assets.rte-france.com/prod/public/2022-06/FE2050%20Rapport%20complet_5.pdf.

L'ÉNERGIE PHOTOVOLTAÏQUE EN NOUVELLE-AQUITAINE : STRUCTURATION, INCITATIONS ET DÉFIS POLITIQUES

- [41] Cointe, B., 2016. Le tarif d'achat photovoltaïque comme outil d'innovation territoriale : l'exemple des Fermes de Figeac, *VertigO*, 16(1).
- [42] Bohnsack R., Pinkse J., Waepol A., 2016. The institutional evolution process of the global solar industry. The role of public and private actors in creating institutional shifts, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, DOI: 10.1016/J.EIST.2015.10.006.
- [43] Ball J., Reicher D., Sun X., Pollock C., 2017. The new solar system. China's evolving solar industry and its implications for competitive solar power in the United States and the world. Stanford University, p. 217. <https://law.stanford.edu/wp-content/uploads/2017/03/2017-03-20-Stanford-China-Report.pdf>.
- [44] Debourdeau A., 2011. De 'la solution' au 'problème'. La problématisation de l'obligation d'achat d'énergie solaire photovoltaïque en France et en Allemagne, *Politix*, issue 95, p. 103-127.
- [45] Dupraz C., Marrou H., Tablot G., Dufour L., Nogier A., Ferard Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes, *Renewable Energy*, 36, 10, p. 2725-2732.
- [46] ADEME, 2021. Définition de l'agrivoltaïsme : état de l'art des systèmes photovoltaïques dans le secteur agricole, collecte de retours d'expérience et production d'un guide de recommandations à destination des pouvoirs publics, Méthodologie de définition.

- [47] Weselek A., Ehmann A., Zikeli S., Lewandowski I., Schindele S., Högy P., 2019. Agrophotovoltaic systems: applications, challenges, and opportunities. A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 39, 4, p. 35.
- [48] Lot-et-Garonne : La plus importante exploitation de kiwis rouges de France, se développe sous serre photovoltaïque, 20 minutes [Consulté en juillet 2022]. <https://www.20minutes.fr/planete/2686403-20200103-lot-garonne-plus-importante-exploitation-kiwis-rouges-france-developpe-sous-serre-photovoltaique>.
- [49] Agrivoltaïsme en Nouvelle-Aquitaine : entre craintes et espoirs, AQU! [Consulté en juillet 2022]. <http://www.aqui.fr/agricultures/agrivoltaisme-en-nouvelle-aquitaine-entre-craintes-et-espoirs,19281.html>.
- [50] TERR'ABOUTS Projet agrivoltaïque de génération solidaire, [Consulté en juillet 2022]. <https://colidee.com/o80p375>.
- [51] Denguin : l'implantation de 16.000 poulets et 15.000 m² de panneaux solaires inquiète les riverains, ICI [Consulté en juillet 2022] <https://www.francebleu.fr/infos/agriculture-peche/denguin-l-implantation-de-16-000-poulets-et-15-000-m2-de-panneaux-solaires-inquiete-les-riverains-1610475157>.
- [52] Dorthe C., 2017. Vers des systèmes agrivoltaïques conciliant production agricole et production d'électricité. [Consulté en juillet 2022]. <https://www.inrae.fr/actualites/systemes-agrivoltaiques-conciliant-production-agricole-production-delectricite>.
- [53] ADEME, 2018. Agriculture et énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles, Synthèse d'une étude menée par des bureaux d'étude.
- [54] Enerplan & SER, 2020. Étude de l'impact des parcs photovoltaïques au sol sur la biodiversité, Synthèse de la première phase dans trois régions de France., p. 8.
- [55] Programme de recherche et publications, Sunagri [Consulté en juillet 2022]. <https://sunagri.fr/programme-de-recherche-et-publications/>.
- [56] La SEM du SDEEG [Consulté en octobre 2022] <https://www.sdeeg33.fr/transition-energetique/les-energies-renouvelables-en-etudes-et-travaux/231-la-sem-gironde-energies.html>.
- [57] ADEME, 2019. Évaluation du gisement relatif aux zones délaissées et artificialisées propices à l'installation de centrales photovoltaïques, P. 9. <https://www.environnement-juste.org/PDFs/2020/Montcuq%20PV/ADEME/synthese-etude-potential-pv-friches-parings-2018.pdf>.
- [58] Evrard A., Pasquier R., 2018. Territorialiser la politique de l'éolien maritime en France. Entre injonctions étatiques et logiques d'appropriation, *Gouvernement et action publique*, Vol. 7, 4, p. 63-91.
- [59] Nadal A., Labussiere O., 2010. Acceptabilité sociale et planification territoriale, éléments de réflexion à partir de l'éolien et du stockage du CO₂, Captage et stockage du CO₂ Enjeux techniques et sociaux en France, quae, pp. 45-60.
- [60] Chailleux S., Compagnon D., Smith A., « Projets d'énergies renouvelables : à quoi servent vraiment les débats publics ? » *The Conversation*, 11 avril, 2022.
- [61] Kelsey N., Meckling J., 2018. Who wins in renewable energy? Evidence from Europe and the United States, *Energy Research and Social Science*, 37, p. 65-73.
- [62] DREAL Nouvelle-Aquitaine, Révision du S3REnR Nouvelle-Aquitaine [Consulté en juillet 2022]. <http://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/revision-du-s3renr-nouvelle-aquitaine-a11023.html>.
- [63] Meckling J., Hughes L., 2018. Protecting Solar: Global Supply Chains and Business Power, *New Political Economy*, 23:1, pp. 88-104.
- [64] Hughes L., Meckling J., 2017. The politics of international energy trade: The US-China solar dispute, *Energy Policy*, 105, pp. 256-262.
- [65] Les énergies renouvelables coopératives et citoyennes en Occitanie : une région pionnière et ambitieuse !, AREC Occitanie [Consulté en juillet 2022]. <https://arec-occitanie.fr/actualites/les-energies-renouvelables-cooperatives-et-citoyennes-en-occitanie-une-region-pionniere>.

LA GÉOTHERMIE EN NOUVELLE-AQUITAINE

- [66] Bonté D., Bouchot V., Lopez S., Guillou-Frottier L., Garibaldi C., Bourguine B., Lucazeau F., 2010. Subsurface temperature maps in French sedimentary basins: new data compilation and interpolation. *Bulletin de la Société géologique de France* 181, pp. 377-390.
- [67] Housse B., Maget P., 1977. Potentiel géothermique du Bassin aquitain. Rapport BRGM - SNEA-P (contrat DGRST - 76.7-1332), 167 p, 38 planches, 4 annexes.
- [68] AFPG, 2020. Etude technico-économique de la géothermie de surface.
- [69] Durst P., Ayache B., Saltel M., Abou Akar A., 2011. *Outil d'aide à la décision en matière de géothermie très basse et basse énergie en région Aquitaine - Atlas du potentiel géothermique des aquifères*. Rapport final BRGM/RP-59761-FR.
- [70] Compère F., Thimon-Larminach M., Leconte S., Abasq L. (2018). *Évaluation du potentiel géothermique très basse énergie en région Limousin*. Rapport final BRGM/RP-68117-FR.
- [71] Thimon-Larminach M., Compère F., Abasq L., 2018. *Atlas régional des ressources géothermales très basse*

énergie de Poitou-Charentes. Rapport final BRGM/RP-67694-FR.

- [72] Hamm V., Maurel C., Treil J., Hameau S., 2019. *Projet SYBASE - Système de bancarisation et de suivi des opérations de géothermie de basse énergie en France métropolitaine*. Rapport final. BRGM/RP-68601-FR.
- [73] Baudouin V., Hameau S., Durendeau B., Tran V.H., Bonnefon C., Maurel C., 2022. Observatoire dynamique de la géothermie de surface. Rapport final. BRGM/RP-71729-FR, 109 p., 33 Fig., 18 Tabl., 6 ann.
- [74] ADEME, 2022. Dossier de presse - La géothermie, une énergie renouvelable locale au service de la transition écologique de la Nouvelle-Aquitaine - Focus sur l'installation géothermique exemplaire de la médiathèque l'Alpha à Angoulême (16).
- [75] Cardona Maestro A., ADEME, *Géothermie de surface: une filière énergétique à développer* – Synthèse du sé-

LES BIOÉNERGIES

- [79] Conseils pratiques et engagés pour l'Habitat Durable [Consulté en avril 2022]. www.picbleu.fr.
- [80] Pollution atmosphérique : les enjeux de la filière bois-énergie, INERIS [Consulté le 13 mai 2022]. <https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/tous-dossiers-thematiques/chauffage-bois-qualite-air/pollution>.
- [81] www.citepa.org [Consulté le 13 mai 2022].
- [82] Michun S., 2016. La filière méthanisation, Céreq Etudes, n°5, 47 p.
- [83] ADEME, *Méthanisation. Feuille de route stratégique*, Paris, France, 2017, 40 p.
- [84] Étude de gisement et de potentiel de développement de la méthanisation en Aquitaine, rapport technique. SOLAGRO, APESA, INDDIGO et ECTARE pour le Conseil Régional d'Aquitaine, Novembre 2015, p 84. https://www.methanaction.com/wp-content/uploads/2016/05/Etude-Gisement-et-Potentiel-Méthanisation-Aquitaine_rapport-complet_compressed.pdf.
- [85] Delhoume C., Caroux D., 2014. Quel rôle des agriculteurs dans la transition énergétique? Acceptation sociale et controverses émergentes à partir de l'exemple d'une chaufferie collective de biomasse en Picardie. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 14 Numéro 3 | Décembre 2014, mis en ligne le 28 décembre 2014, consulté le 26 octobre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/15647> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.15647>.
- [86] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Le plan Energie Méthanisation Autonomie Azote, Paris, France, 2013, 12 p.
- [87] Camguilhem S., 2018. Contestation civique des unités

minaire national du 14 octobre 2021, p. 17.

- [76] Darnet M, Maurel C., Dezayes C., Marc S., Capar L., 2020. *Étude technico-économique des méthodes d'exploration pouvant être mises en œuvre pour réduire l'aléa géologique des opérations de géothermie profonde en métropole*. Rapport final BRGM/RP-69790-FR.
- [77] Maurel C., Hamm V., Bugarel F., Maragna C. avec la collaboration de Badinier G., 2019. *Projet PETROVAL. Potentiel de valorisation géothermique des forages d'exploration et d'exploitation d'hydrocarbure au niveau national*. Rapport final BRGM/RP-68593-FR, 125 p. 65 fig., 17 tabl.
- [78] AFPG, 2021. *La géothermie en France - Etude de filière 2021 - 5^e édition*.
- [88] Bourdin S., Jeanne P., Raulin F., 2020. La méthanisation, oui, mais pas chez moi ! Une analyse du discours des acteurs dans la presse quotidienne régionale, *Natures Sciences Sociétés*, n°2, vol. 28, pp. 145-158.
- [89] Bourdin S., 2020. Concertation, localisation, financements. Analyse des déterminants du déploiement de la méthanisation dans le Grand-Ouest français. *Économie rurale*, 373, 61-77.
- [90] Fortin M.J., Fournis Y., 2014. A bottom-up definition of social acceptability: territorial dynamics related to wind energy projects in Quebec (Canada). Dossier « Territoires en transition environnementale » – Vers une définition ascendante de l'acceptabilité sociale : les dynamiques territoriales face aux projets énergétiques au Québec. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 22, 3, pp. 231-239.
- [91] Bourdin S., Nadou F., Raulin F., 2019. Les collectivités locales comme acteurs intermédiaires de la territorialisation de la transition énergétique : l'exemple de la méthanisation, *Géographie, économie, société*, vol. 21, no. 4, pp. 273-293.
- [92] Soland Martin, Steimer Nora, Walter Götz, « Local acceptance of existing biogas plants in Switzerland », *Energy Policy*, n°61, 2013, pp. 802-810.
- [93] Granoszewski K., Reise C., Spiller A., Musshoff O., 2011. The Role of Land Use Competition in Farmers' Engagement in Renewable Energy Production, VIII International Agribusiness PAA-PENSA Conference "The Multiple Agro Profiles: How to Balance Economy, Environment and Society", Buenos Aires, Argentina, 2011.
- [94] Harun R., Danquah K., Forde G.M., 2010. Microalgal biomass as a fermentation feedstock for bioethanol production, *Journal of Chemical Technology and Bio-*

de méthanisation agricole, une mise en discussion publique des risques, *Les Enjeux de l'information et de la communication*, vol. 3, n°18, pp. 161-170.

technology pp., Vol 85, Issue 2, pp. 199–203. <https://doi.org/10.1002/jctb.2287>.

- [95] Chisti Y., 2007. Biodiesel from microalgae, *Biotechnology Advances*, Vol. 25, Issue 3, pp. 294-306. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>.
- [96] Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S., 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, Issue 1, pp. 217-232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>.
- [97] Khan M.I., Shin J.H. Kim J.D., 2018. The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products, *Microbial Cell Factories*, 17 pp. 1–21. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>.

L'HYDROGÈNE

- [100] Grove, W.R., 1839. On voltaic series and the combination of gases by platinum Phil. Mag. Ser., 1839, 314, pp. 127–130.
- [101] Jammes L., 2021. Regards croisés sur les feuilles de route hydrogène de trois pays : le Canada, le Japon et la France. Quels enseignements ? », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 34 | avril 2021, mis en ligne le , consulté le 02 novembre 2022. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/30135> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.30135>.
- [102] Damette O., Cremel M., Demaie H., Lemoine F., 2020. Les enjeux économiques de la filière hydrogène : une solution pour la transition énergétique ?, *Mondes en dé-*

[98] Daneshvar, E., Wicker R.J, Show P.L., Bhatnagar A., 2022. Biologically-mediated carbon capture and utilization by microalgae towards sustainable CO2 bio-fixation and biomass valorization – A review, *Chemical Engineering Journal*, vol. 427, 130884. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130884>.

[99] Monlau F., Suarez-Alvarez S., Lallement A., Vaca-Medina G., Giacinti G., Munarriz M., Urreta I., Raynaud C., Ferrer C, Castañón S., 2021. A cascade biorefinery for the valorization of microalgal biomass: biodiesel, biogas, fertilizers and high valuable compounds, *Algal Research*, Vol. 59, 102433. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102433>.

veloppement, vol. 192, no. 4, pp. 89-101.

- [103] Feuille de route Néo Terra - Transition énergétique et écologique en Nouvelle-Aquitaine [Consulté le 15 mai 2022]. <https://www.neo-terra.fr>.
- [104] Feuille de route Hydrogène Nouvelle Aquitaine - Direction du pilotage stratégique et filières - Unité filières vertes- p. 40. [Consulté le 15 mai 2022]. https://www.nouvelle-aquitaine.paris/application/uploads/files/Alumni/Feuille%20de%20route%20Hydrogène_V11.pdf.

LES PORTS COMMERCIAUX NÉO-AQUITAINS FACE À LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

- [105] Chouquet M., Motte-Baumvol J., 2021, Les ports maritimes face aux défis du développement durable, Institut Francophone pour la justice et la démocratie, *Institut Francophone pour la Justice et la Démocratie*.
- [106] Izaguirre C., Losada I.J., Camus P., Vigh J.L., Stenek V., 2021. Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change*, 11 (1), 14-20. doi:10.1038/s41558-020-00937-z.
- [107] Sophie C., Lérique F., 2021. Les ports en France - Quelle stratégie portuaire pour un développement de l'activité ?, *Editions ESKA*, Paris.
- [108] Colrat A., Decludt A., Cartier J., Gomez F., Gudefin P., Caude G., Fulda B., Marendet F., 2018. La transformation du modèle économique des grands ports maritimes, Inspection générale des Finances - Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, 13 p.
- [109] Verhoeven P., 2010. A review of port authority functions : towards a renaissance ? *Maritime Policy and Management*, 37(3), pp. 247-270.
- [110] Vaspart M., 2020. «Réarmer» nos ports dans la compétition internationale”, Rapport d'information fait au nom de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable par la mission d'information relative à la gouvernance et à la performance des ports maritimes, Enregistré à la Présidence du Sénat le 1^{er} juillet 2020, n.580.
- [111] *European ports becoming 'fit for 55'*, European Parliament, 27 avril 2022.
- [112] Cerceau J., Mat N., 2015. Le rôle des ports dans la mise en place de démarches d'écologie industrielle et le développement de l'économie circulaire. In: J. Cerceau & N. Mat (Eds.), *Économie Circulaire et Écosystèmes Portuaires*, pp. 105–126, Editions EMS.

- [113] La Stratégie nationale portuaire (SNP), 2021 - <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-portuaire-snp> [Consulté en juillet 2022].
- [114] Rynkiewicz C., 2011. European port cities as gateways to a green economy?, *Network Industries Quarterly*, 13 (4), pp. 23-25.
- [115] Carter C., Drouaud F., 2022. Territory, ecological transition and the changing governance of ports, *Territory, Politics, Governance*, DOI: 10.1080/21622671.2022.2038661.
- [116] Royal HaskoningDHV, 2021. The new energy landscape Impact on and implications for European ports, 110 p.
- [117] ORÉE, 2020. État des lieux de l'écologie industrielle et territoriale en France, 93 pages.
- [118] Andriamanantena A., Veyssiere S., Le S.T.K., Cotonnec G., Laperche B., 2020. Le rôle des ports dans L'Économie Circulaire. Construction d'un tableau de bord d'Indicateurs, *Cahiers du Lab.RII*, n.312.
- [119] Amont S., Ramos C., 2019. Le secteur maritime navigue-t-il vers la décarbonation ? Un état des lieux, *Carbone* 4, 16 p.
- [120] <https://www.h2bordeaux.eu/> [Consulté en septembre 2022].
- [121] Watripont C., Touret P., 2017. Les ports français à l'heure des énergies marines renouvelables, ISEMAR, Note de Synthèse N°188, ISSN : 1282-3910, 4 p.
- [122] Projet de parc éolien en mer. Services de l'État en Charente Maritime. [Consulté en septembre 2022] - <https://www.charente-maritime.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-risques-naturels-et-technologiques/Projet-eolien-en-mer/Projet-de-parc-eolien-en-mer>.
- [123] Ceser, Nouvelle-Aquitaine, 2017. Les Ports de commerces en Nouvelle-Aquitaine. https://ceser-nouvelle-aquitaine.fr/sites/default/files/2019-08/Ceser_Synthese_Rapport_Ports.pdf.
- [124] Raspiengeas JC., 2022. Une vie sur l'eau - Le monde des bateliers, *Éditions de l'Iconoclaste EDS de L'*, 284 p.
- [125] Paul C., 2015. Quand les artisans bateliers « carburant » : Pratiques, représentations et enjeux du carburant dans le transport fluvial In: *Sociologie de l'énergie : Gouvernance et pratiques sociales* [en ligne]. Paris : CNRS Éditions, 2015 (généré le 14 juillet 2022). <http://books.openedition.org/editions-cnrs/26085>. ISBN : 9782271130471. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.26085>.
- [126] ADEME, VNF, 20019. Efficacité énergétique et environnementale du transport fluvial de marchandises et de personnes.
- [127] VNF, 2021. Contrat d'objectifs et de performance : Le fluvial au cœur de la transition écologique 2020-2029.
- [128] Programme Garonne Fertile - <https://www.garonnefertile.org> - [consulté en septembre 2022].
- [129] Carter C., Drouaud F., 2022. Territory, ecological transition and the changing governance of ports, *Territory, Politics, Governance*, DOI: 10.1080/21622671.2022.2038661.
- [130] Foulquier E., Lambert, C., 2014. Gouverner les ports de commerce à l'heure libérale: Regards sur les pays d'Europe du Sud, CNRS Éditions via OpenEdition.
- [131] Duszynski J., Mus M., Florant J., 2015. La Toile Industrielle de l'Estuaire de la Seine : une vision systémique au service du territoire, des ports et des entreprises. In: Y. Alix, N. Mat, & J. Cerceau (Eds.), pp. 43–56. Editions EMS.
- [132] Gueguen-Hallouët G., 2014. Libéralisation et nouvelle gouvernance : les défis des ports maritimes français, italiens et espagnols. In: E. Foulquier & C. Lamberts (Eds.), pp. 37–74, CNRS Éditions.
- [133] Jong C., Jacobs W., 2015. Amsterdam: Energy port in Transition, In: *Économie circulaire et écosystèmes portuaires*, pp.267-278, EMS Management & Société.
- [134] Beyer A., Lacoste R., 2017. La transition écologique des territoires urbano-portuaires. Les enseignements de la démarche de reconnexion énergétique engagée entre la ville et le port de Strasbourg, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol., no. 5, pp. 857-880.
- [135] Fédération nationale des agences d'urbanisme (FNAU), 2021. Ports, villes et transition, *Alternatives*.
- [136] Hein C., van de Laar P., 2020. The separation of ports from cities: The Case of Rotterdam, *European Ports in Transition series*, p. 265-286.
- [137] Debrie J., 2013. La relation ville-fleuve-port dans les projets urbains : acteurs et instruments d'une reconnexion (Strasbourg, Lyon), *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Aménagement, Urbanisme, document 659, URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/26118> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeo.26118>.
- [138] Mor Elsa. 2015, La transition énergétique urbaine : vers une reconfiguration multi-niveaux des systèmes de gouvernance et des systèmes énergétiques ? : Deux études de cas contrastées : Bristol (Royaume-Uni) et Munich (Allemagne). Géographie. Université du Maine. Français. ffnnt : 2015LEMA3010ff. fftel-01442461f.
- [139] Carpenter A., Lozano R., 2020. European Port Cities in Transition: Moving Towards More Sustainable Sea Transport Hubs, Springer Nature Switzerland.
- [140] Jugie JH., 2017. Les relations ville-port selon une approche d'écologie territoriale : le cas de Montréal, *Thèse de doctorat*, Université de Montréal.
- [141] Rézenthel R., 2021. Les rapports entre la ville et le port, In: *Les ports maritimes face aux défis du développement durable*, *Institut Francophone pour la Justice et la Démocratie*, pp.15-27.
- [142] Guillaume J., Guineberteau J., 2014. Conflictualité et gouvernance portuaires. In: E. Foulquier & C. Lamberts (Eds.), CNRS Éditions, pp. 125–146.
- [143] ESPO. 2021, Environmental Report 2021, EcoPortsinsights.
- [144] Vaspert M., 2020. « Réarmer » nos ports dans la compétition internationale, Rapport d'information fait au nom

- de la commission de l'aménagement du territoire et du développement durable par la mission d'information relative à la gouvernance et à la performance des ports maritimes, Enregistré à la Présidence du Sénat le 1^{er} juillet 2020, n.580.
- [145] AIVP, 2015. Faire la ville avec le port, Guide de bonnes pratiques.
- [146] Roche, S., Connan G., Moulin, M., 2018. Construire une politique publique d'innovation transfrontalière à l'heure

COMMUNAUTÉS ÉNERGÉTIQUES

- [147] Habermas J., 2000. *Après l'État-nation, une nouvelle constellation politique*, Paris, Ed. Fayard, 162 p.
- [148] Bomberg E., McEwen N., 2012. Mobilizing community energy, *Energy policy*, vol. 51, pp. 435-444.
- [149] Sperling K., 2017. How does a pioneer community energy project succeed in practice? The case of the Samsø Renewable Energy Island, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 884-897.
- [150] Tarhan, M.D., 2017. Renewable energy co-operatives and energy democracy: a critical perspective, *Canadian Association for Studies in Co-operation*, pp.1-26.
- [151] Fontaine, A., 2019. L'essor des coopératives énergétiques citoyennes, *Multitudes*, vol. 4, pp. 88-93.
- [152] Turpin D., 2003. Mondialisation et normes juridiques : pour un nouveau contrat social global, in *Mélanges P. Pactet*, Dalloz, Paris, pp. 439-449.
- [153] Serres M., 1990. *Le contrat naturel*, Flammarion, Paris, 240 p, EAN : 9782081512696, ISBN : 9782081512696.
- [154] Debarge O., Georgopoulos T., Rabaey O. (dir.), La Constitution économique de l'Union européenne, Bruylant, Bruxelles, 2008.
- [155] Constantinesco L.-J., 1977. La Constitution économique de la C.E.E. *Revue trimestrielle de droit européen*, pp. 244-281.
- [156] Percebois, J., 2019. La transition électrique, entre marchés et objectifs politiques, *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, n°1, pp. 76-80.
- [157] Delepine J., 2020. EDF démantelé au profit du privé ?, *Alternatives Économiques* n°412.
- [158] Pesqueux Y., 2014. De la notion de territoire, *Prospective et stratégie*, 1-2 (Numéros 4-5), pp. 55-68.
- [159] Sebi C., Vernay A.L., 2020. Community renewable energy in France: The state of development and the way forward, *Energy Policy*, vol 147, 111874.
- [160] Gilbert C., Henry E., 2012. La définition des problèmes publics : entre publicité et discrétion, *Revue française de sociologie*, vol. 53, n°1, pp. 35-59.
- [161] Gomez A., Tyl B., Pottier A., 2022. Trajectories of renewable energy communities: between democratic processes and economic constraints, *Local Energy Communities*, In: Gilles Debizet, Marta Pappalardo, Frédéric Wurtz (dir.) *Emergence, Places, Organizations, Decision Tools*, Routledge, London, pp.153-171.
- [162] Bafoil F., 2016. Gouvernance, conflits et acceptabilité sociale de l'énergie éolienne : une synthèse comparée, In: François Bafoil (dir.), *L'énergie éolienne en Europe. Conflits, démocratie, acceptabilité sociale*, Paris, Presses de Sciences Po, pp. 221-252.
- [163] Wokuri P., 2019. La participation citoyenne dans l'éolien au Danemark : institutionnalisation durable ou expérimentation temporaire », *Participations*, 23 (1), pp. 193-217.
- [164] Dechézelles S., 2019. Être du coin, défendre ses lieux. L'autochtonie protestataire dans l'engagement contre l'éolien de grande taille en France », in Stéphanie Dechézelles et Maurice Olive (dir.), *Politisation du proche. Les lieux familiers comme espaces de mobilisation*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, pp.239-260.
- [165] Servalos M., 2020. *L'énergie citoyenne : levier pour une société autonome et durable ?* Thèse de doctorat, Sciences de l'environnement, Université de Lausanne, Lausanne, 298 p.
- [166] Hamman P., Christen G., 2017. La transition énergétique face aux inégalités écologiques urbaines, *Géographie, économie, société*, 2, Vol. 20, pp. 267-293.
- [167] Brummer V., 2018. Of expertise, social capital, and democracy: Assessing the organizational governance and decision-making in German Renewable Energy Cooperatives. *Energy Research & Social Science*, Volume 37, pp. 111-121.
- [168] Yildiz, Ö., 2014. Financing renewable energy infrastructures via financial citizen participation—The case of Germany. *Renewable Energy*, 68, pp. 677-685.
- [169] Rüdinger, A., 2019. *Les projets participatifs et citoyens d'énergies renouvelables en France : état des lieux et recommandations*, IDDRI, Étude N°03/19, 38 p.
- [170] Blanchet T., Herzberg C., 2019. Les enjeux démocratiques de la transition énergétique territoriale : enquête sur la coopérative énergétique citoyenne de Iéna, *Lien social et Politiques*, (82), pp. 139–157.
- [171] Données CIRENA - <https://cirena.fr/medias/chiffres-cl%C3%A9s-2019.pdf> - [Consulté le 22/06/2020].

Contributeurs et relecteurs



Alves Carlos-Manuel
CRDEI, Université de
Bordeaux



Bouzin Antoine
Centre Émile Durkheim,
Université de Bordeaux,
Sciences Po Bordeaux,
CNRS



Chailleux Sébastien
Centre Émile
Durkheim, Sciences
Po Bordeaux



Garnier Emmanuel
CNRS, UMR
Chrono-
Environnement, UFC



Marcher Clémence
AcclimaTerra



Smith Andy
Université de
Bordeaux



Barrière Jérôme
BRGM



Bové Marie
VALOREM



Compagnon Daniel
Centre Émile
Durkheim, Sciences
Po Bordeaux,
AcclimaTerra



Gomez Armelle
Centre Émile
Durkheim - Sciences
Po Bordeaux



Mauvy Fabrice
Université de
Bordeaux - ICMCB
- CNRS



Swingedouw Didier
CNRS, EPOC, OASU,
Université de
Bordeaux



Beigbeder
Jean-Baptiste
APESA



Bunales Rafaël
AREC - OREGES



Dechézelles
Stéphanie
TREE, CNRS,
Université de Pau et
des Pays de l'Adour



Gubert Stéphane
Port de Bayonne



Moretti Isabelle
Université de Pau et
des Pays de l'Adour



Taabni Mohamed
Université de Poitiers,
RURALITES



Bernard Matthieu
VALOREM



Cabaret Yohana
AcclimaTerra



De Guillebon Benoît
APESA



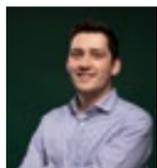
Klein Fabrice
Port de Bordeaux



Plisson Bernard
Port Atlantique La
Rochelle



Tyl Benjamin
APESA



Billaud-Curvale
Simon
VALOREM



Carrausse Romain
TREE, CNRS,
Université de Pau et
des Pays de l'Adour



Ferrari Sylvie
BSE, Université de
Bordeaux



Larroque François
Bordeaux INP -
ENSEGID



Roche Sylvain
Chaire TRENT
Sciences Po Bordeaux



Viron Céline
Port de Rochefort/
Tonnay-Charente



Carter Caitriona
UR ETTIS - INRAE



Legube Bernard
Université de Poitiers



Sergent Arnaud
INRAE

LES ÉNERGIES RENOUVELABLES EN NOUVELLE-AQUITAINE : ENJEUX ET PERSPECTIVES

Cahier thématique AcclimaTerra n°3

Citation : AcclimaTerra, Roche S. (coord). Les énergies renouvelables en Nouvelle-Aquitaine : enjeux et perspectives – Cahier N° 3. Éditions AcclimaTerra, 2022, 84 p.

ISBN : 978-2-9574665-3-5

Format : 21 x 29,7 cm

Design et mise en page :

Iti Communication
www.iti-communication.com / 05 55 04 20 19

Impression :

Imprimerie Laplante
www.laplante.fr / 05 56 97 15 05



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**



Agissons aujourd'hui, **réinventons** demain