Déploiement de la géothermie profonde en région Centre-Val de Loire : un argumentaire à destination des acteurs locaux basé sur des analyses sociales, économiques et environnementales

V. Hamm[1], F. Andriamasinoro[1], A. Allexis[1], [1]BRGM, M. Mounmemi[2], X. Galiègue[2], [2]LEO, X. Moch[3], F. Bugarel[3], [3]AFPG, R. Beaulieu[4], [4]AMORCE, M. Doucet[5], T. Schmit[5], [5]Agreen Tech Valley

v.hamm@brgm.fr[1], f.andriamasinoro@brgm.fr[1], a.allexis@brgm.fr[1], mounmemimoustapha90@gmail.com[2], xavier.galiegue@univ-orleans.fr[2], xavier.moch@afpg.asso.fr[3], f.bugarel@cfg-geo.fr[3], rbeaulieu@amorce.asso.fr[4], muriel.doucet@agreentechvalley.fr[5], thomas.schmit@agreentechvalley.fr[5]

Mots clés : Région Centre-Val de Loire, collectivités, industriels, serristes, énergies renouvelables, géothermie profonde, atouts, freins, leviers, argumentaire

1. INTRODUCTION

La géothermie profonde est vue par la région Centre Val-de-Loire comme une solution énergétique vertueuse pour le territoire, cependant, à ce jour, elle y reste peu déployée. Aussi, pour favoriser sa mise en œuvre, la région a financé un projet de recherche d'intérêt régional, appelé « AMIGO ». Ce projet est coordonné par le BRGM en partenariat avec le LEO (Laboratoire d'Économie d'Orléans), l'AFPG (Association Française des Professionnels de la Géothermie), l'AMORCE (Association d'accompagnement des collectivités et des acteurs dans la transition énergétique) et AgreenTech Valley (Cluster national dédié aux technologies numériques pour les filières végétales). Il a pour objectif d'établir un argumentaire pour aider les collectivités locales et les acteurs privés de la région à choisir entre les différentes sources d'énergie renouvelable possibles pour les réseaux de chauffage urbain, les processus industriels ou le chauffage des cultures sous serres. Pour développer cet argumentaire, les phases du projet sont : (1) comprendre le positionnement des acteurs vis-à-vis de la géothermie profonde, et (2) rassembler les informations clés dans le contexte territorial (aspects socio-économiques et environnementaux d'un projet de géothermie profonde, informations sur la ressource géothermale, demande de chaleur sur le territoire). Cet article présente les avancées dans le processus de construction de l'argumentaire, en particulier les résultats (1) de l'analyse du positionnement des acteurs de la région et (2) de l'analyse économique et environnementale d'un projet de géothermie profonde.

2. ANALYSE DU POSITIONNEMENT DES ACTEURS DE LA REGION

2.1 Identification des acteurs de la région et phase d'entretiens

Dans une première phase du projet, nous avons souhaité connaître le positionnement des acteurs de la région sur leur perception et connaissance actuelles de la géothermie profonde ainsi que leurs arguments (en faveur ou en défaveur) par rapport à son adoption. 3 catégories d'acteurs ont été ciblées, vu leur rôle et/ou leur position institutionnelle ainsi que leur consommation énergétique élevée : les collectivités, les entreprises et les serristes. Pour ce faire, nous avons sollicité une soixantaine d'acteurs pour une demande d'interview sur (a) leurs besoins en chaleur et leurs sources d'énergie actuelles, (b) leurs perceptions (atouts et freins) de la géothermie profonde par rapport à d'autres sources d'énergie renouvelables ou fossiles, (c) les leviers et incitations potentiels pour la géothermie profonde, (d) les moyens de communiquer et (e) les perspectives d'avenir. Au final, 34 acteurs ont accepté d'être interviewés, sur leur lieu de travail ou par visioconférence : 13 représentant des collectivités, 9 représentant des syndicats d'énergie ou organismes de financement, 12 représentant des entreprises ou serristes de la région.

2.2 Analyse multi-acteurs multicritères des entretiens

Dans une seconde phase, un travail d'analyse des entretiens a été réalisé en proposant une catégorisation thématique des différents critères (= des arguments) afin de faire ressortir ceux les plus récurrents dans le discours des acteurs. Ensuite, un questionnaire a été construit à partir de cette nouvelle catégorisation pour permettre une évaluation croisée (=multi-acteurs) des différents critères. Pour chaque acteur, cette évaluation a deux objectifs : (a) préciser/nuancer les réponses durant son propre entretien, et (b) attribuer un poids à chacun des arguments (les siens et ceux des autres). Le questionnaire a été transmis aux 34 acteurs interviewés en première phase de projet. En retour, 16 ont répondu. Si le nombre de répondants reste modéré, on retrouve un panachage du type d'acteurs qui ont répondu aux entretiens initialement. En conséquent, leur retour reste représentatif et instructif sur leur positionnement actuel par rapport à la géothermie profonde.

Les thématiques reprises dans le questionnaire portaient sur :

- l'intérêt portée par leur structure à l'étude d'une solution de géothermie profonde pour répondre à leurs besoins de chaleur ;
- leur positionnement (poids accordé) aux différents arguments identifiés comme des atouts ou des freins au développement d'une solution de géothermie profonde ;
- l'importance accordé aux arguments identifiés comme des leviers potentiels de la géothermie profonde ;
- l'échelle et l'horizon temporelle à laquelle les acteurs considèrent leurs besoins;
- les documents sur lesquels ils s'appuient pour la planification de leurs besoins ;
- les compétences extérieures mobilisées et les domaines de compétence concernés.

50% des répondants ont indiqué un intérêt fort pour l'étude d'une solution de géothermie profonde, 44% un intérêt moyen et 6% un intérêt limité. La Figure 1 indique le poids accordé par les acteurs aux différents arguments qui concernent **les atouts, les freins** et **les leviers potentiels de la géothermie profonde**. Les arguments sont classés par ordre décroissant suivant leur poids, c'est-à-dire ceux ayant obtenu le plus grand score de « Très important » et « important » et en cas d'égalité par le plus grand score « Très

important ». Pour les leviers une sous-classification a été faite par sous-thème (technico-économique, formation/accompagnement, financier/administratif, modes de communication).

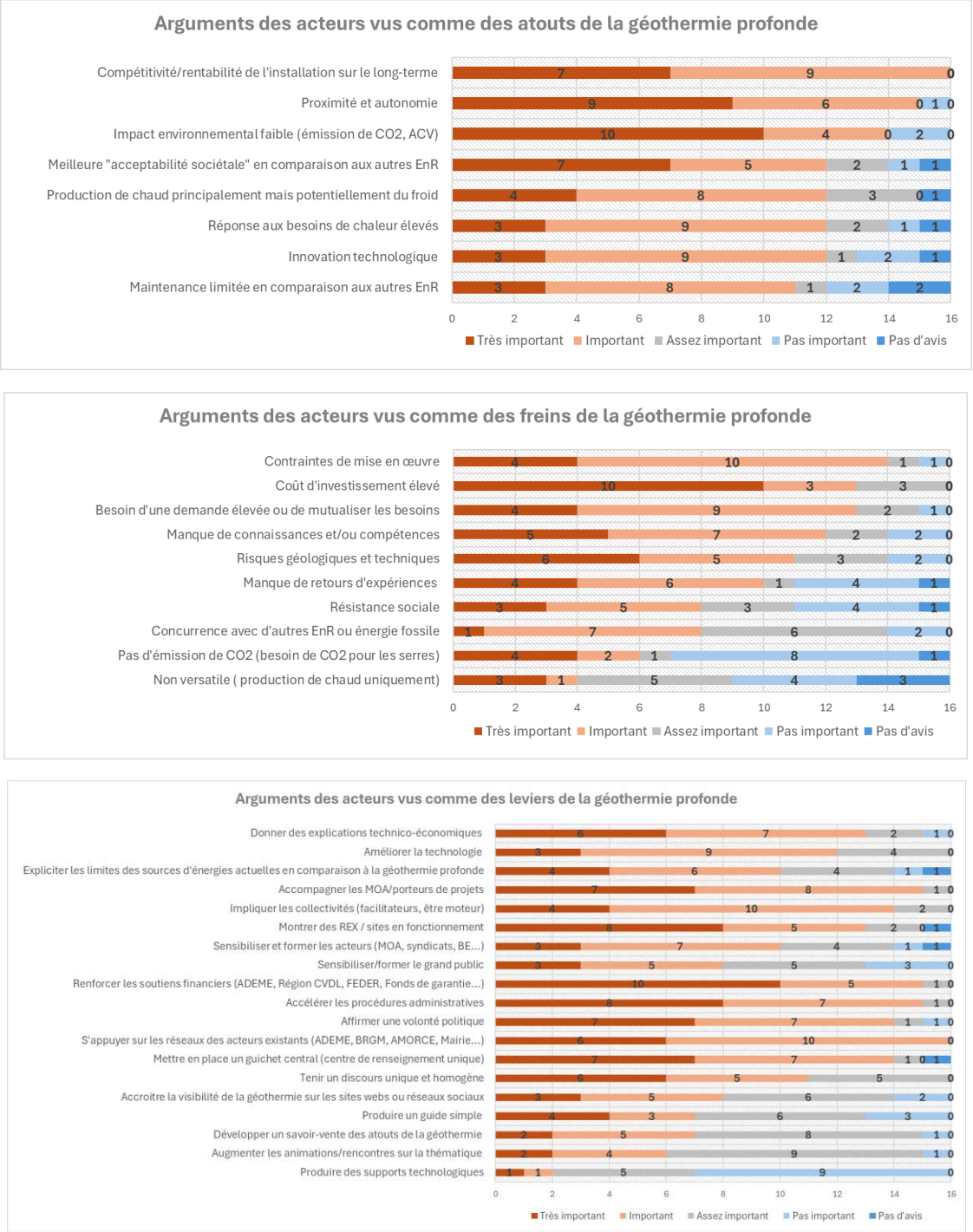

Figure 1: Arguments des acteurs sur leviers potentiels de la géothermie profonde (source : BRGM, 2025)

Les principaux atouts qui ressortent auprès des acteurs sont la compétitivité/rentabilité de l'installation sur le long-terme, la proximité et autonomie (énergie locale, indépendante du marché de l'énergie, non dépendante des conditions météorologiques, disponible 24h/24…), un impact environnemental faible (émissions de CO_2, ACV) et une meilleure « acceptabilité sociétale » (pas/peu de nuisances, faible occupation au sol, …) en comparaison d'autres EnRs. Les principaux freins qui ressortent sont les contraintes de mise en œuvre (administratives, localisation…), le coût d'investissement élevé (investissement initial, maintenance…), la nécessité d'une demande élevée ou de mutualiser les besoins, le manque de connaissances et/ou compétences (géothermie en général, technologie…) et les risques géologiques et techniques (en cours de forage, en cours d'exploitation). Les principaux leviers cités par les acteurs sont le besoin d'explications technico-économiques (sur la ressource, le coût de mise en œuvre, les travaux de réalisation et maintenance…), l'amélioration de la technologie (de réalisation, de simulation du système géothermique), l'accompagnement des maitres d'ouvrages/porteurs de projets, une implication plus importante des collectivités, des retours d'expériences, le renforcement des soutiens financiers, l'accélération des procédures administratives, une volonté politique plus marquée, les réseaux des acteurs institutionnels, un guichet central unique, un discours unique et homogène.

En complément de leur perception de la géothermie profonde, les acteurs ont répondu avoir des besoins principalement à l'échelle des bâtiments ou réseaux de chaleur qui leur appartiennent ainsi qu'à l'échelle de l'ensemble du territoire pour les collectivités et que leurs besoins sont souvent à court ou moyen terme. Pour les collectivités, les documents utilisés pour la planification de leurs besoins sont de manière partagée le PCAET, le schéma directeur des réseaux de chaleur, les ZAEnR, le SRADDET ou le SCOT. Les compétences externes mobilisées sont principalement des bureaux d'études (sous-sol et énergétiques), mais également les organismes comme le BRGM, l'AMORCE et l'AFPG. Les domaines d'expertise demandés sont de manière partagée sur les aspects techniques, la connaissance du sous-sol, le modèle économique et les aspects juridiques.

3. ANALYSE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE D'UN PROJET DE GEOTHERMIE PROFONDE

Afin d'apporter des éléments décisionnels aux acteurs de la région, une analyse technico-économique a été réalisée pour préciser le coût complet de la production d'énergie, le taux de rentabilité interne et le temps de retour sur investissement d'un projet de géothermie profonde ainsi que ses impacts environnementaux en termes d'analyse ACV et d'émissions de CO_2. Ces données sont comparées par rapport à d'autres sources d'énergie renouvelables telles que la biomasse (très déployée dans la région) ou le solaire thermique.

3.1 Evaluation technico-économique et financière de la géothermie profonde

L'un des outils les plus couramment utilisés pour cette évaluation est le coût actualisé de l'énergie (LCOE - Levelized Cost of Energy). Cet indicateur permet d'estimer le coût moyen de production d'un mégawattheure (MWh) de chaleur sur l'ensemble de la durée de vie du projet. Le LCOE prend en compte l'ensemble des coûts engagés, actualisés sur la durée de vie du projet. Il intègre ainsi l'investissement initial (CAPEX), les coûts d'exploitation et de maintenance (OPEX), ainsi que d'éventuelles dépenses liées au financement ou au remplacement d'équipements. Grâce à cette approche, il est possible d'obtenir une vision plus précise du coût réel de production de l'énergie et d'évaluer la viabilité économique du projet. Dans le cas d'un projet de géothermie profonde, en plus des coûts précédents, il faut considérer le risque géologique lié aux incertitudes de trouver une ressource économiquement exploitable. Ainsi, un projet de géothermie profonde nécessite la réalisation d'études plus ou moins poussées et coûteuses en amont de la réalisation des forages. Ce coût est intégré dans les dépenses d'investissement et varient en fonction du niveau de risque. Trois segments des risques ont été définis dans le Fonds de garantie géothermie[1] correspondant à un risque faible (segment 1, zone géologique et potentiel géothermique connus), un risque moyen (segment 2, zone géologique connue mais potentiel géothermique peu connu) et un risque fort (segment 3, zone géologique et potentiel géothermique mal connus). Les projets en région Centre-Val de Loire seront plutôt en segment 2 voire 3 suivant leur localisation. Trois niveaux de puissance ont également été considérés (6, 9 et 12 MW) correspondant respectivement à un débit moyen annuel de 160, 240 et 320 m^3/h avec l'utilisation de PACs. Ces résultats (cf. Figure 2) indiquent un coût de l'énergie de la géothermie profonde qui est compétitif pour les projets de plus de 9 MW vis-à-vis des autres EnRs mais également du gaz naturel dont le coût reste très fluctuant en fonction du marché de l'énergie.

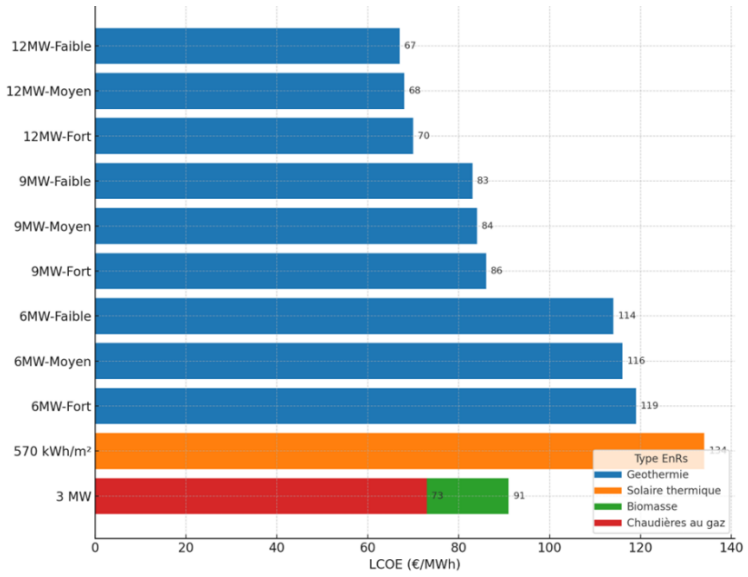

Figure 2: Comparaison du LCOE des différentes sources d'énergies considérées (source : LEO, 2025)

La performance financière d'un projet de géothermie profonde a par ailleurs été évaluée sur la base de trois indicateurs qui sont : la valeur actuelle nette (VAN), le taux de rentabilité interne (TRI) et le temps de retour sur investissement (ROI). Les deux premiers indicateurs permettent d'évaluer la rentabilité de l'investissement initial. Le 3ième indicateur permet de mesurer le temps nécessaire pour récupérer le montant investi dans un projet. Ces indicateurs ont été évalués pour les différentes sources d'énergie renouvelables et pour différentes hypothèses du coût de vente de la chaleur des réseaux de chaleur (cf. Tableau 1). La géothermie profonde apparait comme une source d'énergie renouvelable performante pour les réseaux de chaleur dans le cas de projets de 9 et 12 MW avec une VAN positive et élevée, un TRI compris entre 8 et 14% et un temps de retour sur investissement entre 7 et 11 ans. Ces valeurs sont

[1] Le Fonds de garantie geothermie est un outil assurantiel permettant d'accompagner financièrement les projets de géothermie profonde en court terme (avant et pendant la réalisation des ouvrages) en cas de ressource insuffisante (débit, température) et en long terme (pendant la phase d'exploitation des ouvrages) en cas de diminution des capacités de la ressource ou sinistres affectant les puits.

comparables aux chaudières biomasse avec une VAN positive mais plus modérée, un TRI entre 9 et 10% et un temps de retour sur investissement de l'ordre de 9 ans. Le solaire thermique présente une rentabilité insuffisante avec une VAN toujours négative. En conséquence la géothermie profonde de 9MW ou plus est une solution intéressante pour l'alimentation des réseaux de chaleur urbains.

Tableau 1. Comparaison des indicateurs financiers des différentes sources d'énergie (source : LEO, 2025)

Performance financière au coûts moyen de la chaleur indépendamment du taux d'EnRs et de la source d'énergie majoritaire : 108 €/MWh			
EnRs	**VAN (€)**	**TRI (%)**	**ROI (années)**
Geothermie profonde (9 MW)	14 288 363	8	11
Chaudière biomasse	2 087 419	9	9
Solaire thermique	-141 243	1	
Performance financière au coût moyen de vente de la chaleur des réseaux au taux 50% <EnRs<75% : 109,8€/MWh €/MWh			
EnRs	**VAN (€)**	**TRI (%)**	**ROI (années)**
Géothermie profonde (9 MW)	15 368 572	9	10,7
Chaudière biomasse	2 304 571	10	9
Solaire thermique	-131 481	1	
Performance financière au coût moyen de vente de la chaleur des réseaux dans la région Centre Val de Loire : 109,7 €/MWh			
EnRs	**VAN (€)**	**TRI (%)**	**ROI (années)**
Géothermie profonde (9 MW)	15 308 560	9	10,7
Chaudière biomasse	2 292 507	10	9
Solaire thermique	-132 023	1	
Performance financière au coût moyen de vente de la chaleur des réseaux par énergie majoritaire disponible : CEM €/MWh			
EnRs	**VAN (€)**	**TRI (%)**	**ROI (années)**
Géothermie profonde (9 MW)	15 488 595	9	10,7
Chaudières biomasse	2 268 380	10	9
Solaire thermique	-	-	-

3.2 Impact environnemental de la géothermie profonde

L'évaluation de l'impact environnemental d'un projet de géothermie profonde vise à analyser les effets directs et indirects de l'exploitation de la ressource sur l'environnement et les populations locales. L'analyse repose sur une étude approfondie des différentes phases du projet, depuis le forage des puits, l'exploitation jusqu'à la fin de vie. Elle s'appuie sur les études d'impact environnementales qui sont réalisées lors des demandes d'autorisation de recherche et d'ouverture des travaux miniers d'un gîte géothermique. Les principales composantes retenues pour l'analyse sont : les impacts sur l'urbanisme, le trafic, l'impact visuel, le bruit, l'air, les déchets, les risques naturels, les risques technologiques, le patrimoine, la faune et flore, le sol, la santé et sécurité, le climat et énergie et l'eau. Une analyse en composante principale (ACP) a ensuite été réalisée pour évaluer les principales composantes qui contribuent aux impacts environnementaux dans chaque phase d'un projet de géothermie profonde. Les résultats sont synthétisés dans la Figure 3. La phase chantier indique un impact négatif principalement sur les travaux de la boucle géothermale et des réseaux de chaleur, la phase exploitation un impact négatif sur l'unité de production (centrale géothermique) et la phase de fin de vie un impact négatif modéré sur l'abandon de l'ouvrage. En moyenne l'impact environnemental est le plus important en phase travaux (-0,685), il est ensuite plus faible pendant la phase d'exploitation (-0,303) et devient même positif en fin d'exploitation (+0,988). Par ailleurs l'analyse de l'émission de CO_2 sur l'ensemble du cycle de vis indique que la géothermie profonde est la solution la moins impactante comparée aux autres EnRs (émission moyenne de l'ordre de 10 gCO_2/kWh en comparaison de la biomasse à 38,6 gCO_2/kWh et solaire thermique à 50 gCO_2/kWh).

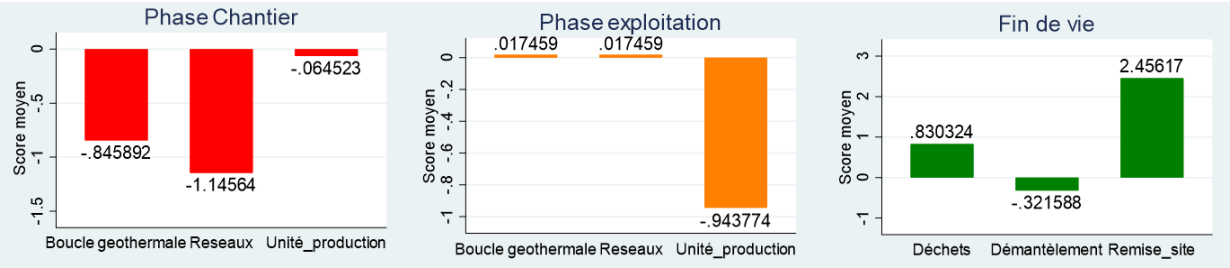

Figure 3. Impact environnemental par composante et phase d'un projet de géothermie profonde (source : LEO, 2025)

4. CONCLUSIONS - PERSPECTIVES

Ces analyses socio-économiques et environnementales seront ensuite complétées par l'étude (en cours) de la ressource géothermale profonde à l'échelle de la région Centre-Val de Loire (via le projet d'inventaire géothermique national). In fine, ces trois entrées permettront d'alimenter l'argumentaire à destination des acteurs locaux publics et privés de la région, avec des éléments objectifs sur la géothermie profonde, en comparaison aux autres EnRs.

BIBLIOGRAPHIE:

Bartolo, J. (2023) Demande d'autorisation de recherche d'un gîte géothermique au Dogger et d'ouverture de travaux miniers à Dugny-Le Bourget (Rap. 23CFG146 VA – Volet 1 à 6)

Hamm, V., Darnet, M., Maurel, C., Audouin, O. avec la collaboration de Receveur, M (2020). BILAN GTH : Bilan de la filière géothermie profonde pour la production de chaleur sur la période 2007-2018, Rapport final BRGM/RP-69577-FR, 205 p.

Martinand, T. (2025). Enquête sur le prix de vente de la chaleur et du froid en 2023, Réf AMORCE RCE 41, Edition 2024, 57 p.

Peraudeau, N. (ADEME) *et al* (2024). Evolution des coûts des énergies renouvelables et de récupération en France entre 2012 et 2022, Rapport final, Edition 2024, 188 p.