

TETE, UN OUTIL EN LIBRE ACCÈS POUR ESTIMER LES EMPLOIS GÉNÉRÉS PAR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

PRÉSENTATION ET APPLICATION AU SCÉNARIO NÉGAWATT 2022

Philippe Quirion

CIREN, CNRS

Nous présentons l'outil TETE, en libre accès, destiné à évaluer les emplois générés par différentes activités liées à la transition écologique. Basé sur le tableau entrées-sorties, cet outil permet de prendre en compte les emplois directs et indirects. Nous présentons un exemple d'utilisation de cet outil : la quantification du nombre d'emplois dans les énergies renouvelables et la rénovation thermique des bâtiments, en cas de mise en œuvre du scénario négaWatt 2022.

Mots clés : emploi, input-output, énergies renouvelables, scénario.

Dans le débat public sur les politiques climatiques, la question de l'emploi est fréquemment mobilisée, que ce soit pour pousser des politiques plus ambitieuses ou pour les freiner. De multiples évaluations chiffrées sont publiées, basées sur des méthodologies diverses et pas toujours transparentes. Dans ce contexte, il est apparu intéressant de développer un outil en accès libre, à la méthodologie transparente, qui permet d'évaluer les emplois générés par un scénario portant sur la transition écologique, ou en tout cas sur certains aspects de celle-ci. L'outil TETE¹, présenté dans cet article, vise à répondre à ce besoin. Il couvre les secteurs de l'énergie, des transports, des bâtiments et des déchets.

1. TETE est l'acronyme de « Transition Écologique Territoire Emploi ». L'outil, propriété de l'Ademe et du Réseau Action Climat, est mis à disposition selon les termes de la licence « Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation Commerciale – Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International », sur le site <https://territoires-emplois.org>.

Différentes méthodes ont été utilisées pour étudier l'effet sur l'emploi des politiques énergétiques ou environnementales, et le choix d'une méthode nécessite un arbitrage entre la finesse dans la représentation des options techniques mobilisées, la transparence de la méthode et la richesse des mécanismes économiques pris en compte. Certaines études se concentrent sur les emplois directs (par exemple les études « Marchés et emplois » de l'Ademe (2021a)), ceux situés dans les branches dont la production est directement affectée – par exemple la branche automobile pour la transition vers le véhicule électrique. D'autres (par exemple Perrier et Quirion, 2017 ; Markandya *et al.*, 2016) intègrent également les emplois indirects (par exemple ceux situés chez les fournisseurs des constructeurs automobiles, les fournisseurs de ces derniers, etc.). D'autres encore prennent en compte les effets dans l'ensemble de l'économie, à l'aide d'un modèle d'équilibre général comme Three-ME (Malliet *et al.*, 2020 ; Bulavskaya et Reynès, 2018) ou Imacim (Cassen *et al.*, 2018).

Se limiter aux emplois directs permet potentiellement de s'affranchir des limitations de la comptabilité nationale en menant des enquêtes technico-économiques, mais le choix des branches couvertes est variable, ce qui rend difficile la comparaison entre les résultats des différentes études. Pour garder l'exemple de la transition vers le véhicule électrique, faut-il considérer comme emplois directs seulement ceux dans la construction automobile, ou aussi ceux dans la fabrication des batteries, la maintenance, l'installation des bornes de recharge, les stations-service ? Différentes études feront typiquement des choix différents sur ces points, d'où des résultats difficiles à comparer.

À l'autre extrême, un modèle d'équilibre général a pour lui la richesse des rétroactions économiques représentées et la prise en compte de l'ensemble des branches de l'économie, mais son fonctionnement est difficile à comprendre pour qui n'est pas macro-économiste.

L'outil TETE adopte un positionnement intermédiaire : il prend en compte les emplois indirects, en utilisant le tableau entrées-sorties (TES) de la comptabilité nationale, mais n'intègre pas les rétroactions macroéconomiques qu'on trouve dans les modèles d'équilibre général. Cela permet une représentation relativement fine des techniques mobilisées (car le TES utilisé distingue 139 branches²) et une méthode

2. Il s'agit du TES symétrique en 139 branche pour l'année 2015, réalisé par l'INSEE.

transparente, toutes les étapes des calculs étant disponibles dans un tableur, et documentées.

Depuis sa diffusion en janvier 2018, l'outil TETE a fait l'objet de plus de 1 800 téléchargements et de diverses utilisations, dont une partie a donné lieu à des publications³. Parmi les utilisateurs, on compte des entreprises, des associations, des administrations et des collectivités territoriales.

De nombreuses études ont évalué les créations d'emplois liées à la transition énergétique, et particulièrement celles liées aux énergies renouvelables. Comme le montrent Cameron et Van Der Zwaan (2015), qui les passent en revue, les chiffres obtenus diffèrent largement, en particulier parce que ces études portent sur des territoires ou des années différentes, ou encore parce que certaines ne prennent en compte que les emplois directs et d'autres également les emplois indirects – sans oublier que la définition de ce qu'est un emploi direct varie entre les études. Nonobstant ces remarques, il est possible de comparer les ratios d'emplois issus de l'outil TETE avec ceux des études passées en revue par Cameron et Van Der Zwaan (2015).

Concernant l'éolien terrestre, pour l'année 2015, TETE aboutit à un ratio de 11 emplois directs et indirects équivalent temps plein (ETP) par MW pour la phase d'investissement (fabrication et installation), et 0,2 ETP/MW/an pour la phase de fonctionnement (opération et maintenance). Les études recensées par Cameron et Van Der Zwaan (2015) fournissent une fourchette très large : respectivement 2,6 à 16 ETP/MW pour l'investissement et 0,1 à 0,6 ETP/MW/an pour le fonctionnement – chiffres qui n'incluent généralement que les emplois directs. Les deux études qui incluent également les emplois indirects aboutissent à 15 et 16 ETP/MW pour l'investissement et 0,12 et 0,4 ETP/MW/an pour le fonctionnement. Ces études étant anciennes (2004 et 2009), il est logique qu'elles fournissent des chiffres supérieurs à ceux de TETE pour l'investissement car les coûts unitaires d'investissement dans l'éolien ont diminué ces dernières années et il en est de même pour les ratios d'emploi.

3. Le nombre exhaustif d'applications de l'outil n'est pas connu, les utilisateurs (souvent des bureaux d'études réalisant des études non publiques) ne communiquant pas forcément sur leurs travaux. Parmi les études publiées, citons l'étude des impacts emploi de la Troisième Révolution Industrielle (DR Ademe Hauts de France, 2018), du SRADET Grand Est (DR Ademe Grand Est, 2020), du Pacte de Cordemais (DR Ademe Pays de la Loire, 2021), un projet de rénovation urbaine à Toulouse (Nösperger *et al.*, 2019), le développement de la filière biogaz en France (GRDF, 2019) et un scénario Zéro émissions nettes pour la France (EPE, 2019).

Pour le solaire photovoltaïque, les ratios dépendent de la taille et du type de l'installation (au sol, en toiture, avec ou sans tracker, etc.). Pour un système en grande toiture, TETE fournit pour 2015 un ratio de 10 ETP/MW pour l'investissement et 0,3 ETP/MW/an pour le fonctionnement. Les études recensées par Cameron et Van Der Zwaan (2015), qui concernent différents types de systèmes photovoltaïques, fournissent des fourchettes encore plus larges que pour l'éolien : 7 à 84 pour l'investissement et 0,1 à 1,65 pour le fonctionnement. Les ratios fournis par TETE sont dans le bas de ces fourchettes, ce qui est logique car les coûts du photovoltaïque ont massivement baissé ces dernières années.

Dans le présent article, nous présentons un exemple d'utilisation de l'outil : la quantification des emplois générés en France par le développement des énergies renouvelables et de la rénovation thermique des bâtiments dans le scénario énergétique négaWatt 2022⁴, sur la période 2021-2050. Parmi les quelques scénarios de transition énergétique élaborés pour la France ces dernières années, nous avons retenu le scénario négaWatt car il offre une cohérence des flux énergétiques, un niveau élevé de détail sectoriel, l'explicitation des principaux déterminants physiques de la consommation d'énergie (surfaces chauffées, capacités renouvelables installées dans l'année et capacités en service...) et un pas de temps annuel. Dans le reste de l'article, nous présentons le principe de fonctionnement de l'outil TETE, les choix qui s'offrent à l'utilisateur, puis les résultats de l'application à une partie du scénario négaWatt, avant de conclure.

1. Un principe de fonctionnement simple

La méthode retenue dans TETE consiste à calculer le contenu en emplois de la demande finale à partir du tableau entrées-sorties de la comptabilité nationale⁵. Elle reprend, en l'actualisant, le principe du modèle AVATAR construit à l'INSEE (Riffard, 1983) et du modèle DEFI élaboré par la Direction de la Prévision (aujourd'hui DG Trésor) du ministère des Finances (Péronnet et Rocherieux, 1983). Elle est proche de celle du modèle Avionic de l'INSEE (Bourgeois et Briand, 2019). Husson (1994) fournit une présentation limpide de ce type d'approche.

4. La description de ce scénario sera mise en ligne sur le site <https://www.negawatt.org/> à partir d'octobre 2021. On y trouve également une description des scénarios précédents réalisés par cette association.

5. Le principe de ce calcul a été élaboré par Leontief (1986) ; Miller et Blair (2009) fournissent une synthèse complète sur ce type de méthode et leurs applications.

1.1. Calcul de l'emploi au niveau national

Les chiffres estimés concernent les emplois situés en France : ceux situés à l'étranger ne sont pas comptabilisés. Les emplois sont présentés en « équivalent temps-plein » (ETP), c'est-à-dire que par exemple deux mi-temps comptent pour un emploi.

Les étapes de la méthode sont les suivantes :

- 1) Pour chaque activité (construction de parcs éoliens, maintenance de ces parcs, construction de nouvelles centrales nucléaires, construction d'infrastructures routières et ferroviaires, transport ferroviaire ou routier de voyageurs, ...), les indicateurs physiques (énergie produite, capacités installées dans l'année, trafic automobile en nombre de voyageurs-km ou de véhicules-km, ...) sont extraits du scénario de transition énergétique. Souvent, des hypothèses sont nécessaires pour passer des variables présentes dans le scénario à celles utilisables par TETE. Par exemple, TETE utilise comme variable d'entrée la capacité en éolien installée chaque année (en MW) tandis que certains scénarios énergétiques n'indiquent que la production d'électricité supplémentaire générée par ces éoliennes (en MWh). Passer de l'un à l'autre nécessite une hypothèse sur le facteur de capacité des éoliennes, ce qui dépend du type d'éolienne et de leur localisation. Pour aider à opérer ces conversions, une feuille de calcul en ligne met à disposition une bibliothèque de coefficients de conversion, permettant de partir des données disponibles, pour aboutir au format des entrées requis par l'outil TETE⁶ ;
- 2) Pour chaque activité, et pour chacune des années considérées, un coût unitaire est calculé (en euros constants par watt d'éolien installé, par tonne-kilomètre transportée...). La méthode retenue pour calculer ce coût unitaire varie selon l'activité, en fonction des sources disponibles. Pour certaines activités considérées comme mature, l'outil postule une stabilité des coûts au cours du temps, tandis que pour d'autres moins matures, ce coût diminue au cours du temps. Ces évolutions sont estimées déduction faite de la hausse du niveau général des prix. L'onglet « références » de l'outil TETE fournit chacune des sources utilisées pour calculer ces coûts et leurs évolutions ;

6. https://docs.google.com/spreadsheets/d/1QQsHJIXroGVnEZxyaaMsY-INNKIHp6_Zl3xnjsaMo9A/edit#gid=558332587

- 3) Ce coût unitaire est multiplié par l'activité de manière à calculer une demande monétaire, puis cette dernière est répartie dans une ou plusieurs des 139 branches du TES, sur la base d'expertises technico-économiques ;
- 4) Pour chacune des 139 branches, nous calculons le contenu en emploi, c'est-à-dire le nombre d'emplois (en ETP) créé en France par million d'euros de demande finale. Soit N le vecteur de l'emploi intérieur par branche, Y le vecteur de la production par branche, A la matrice des coefficients techniques tirée du TES⁷ et I la matrice identité. Nous calculons w , le vecteur des contenus en emplois directs et indirects par branche (en emplois équivalent temps plein par million d'euro de demande finale), par la formule suivante (cf. par exemple Husson, 1994) :

$$w = (I - A)^{-1} \cdot (N \oslash Y) \quad (1)$$

Où \oslash représente la division terme à terme, ou division de Hadamard.

- 5) Cette méthode permet de prendre en compte, non seulement les emplois directs (par exemple, les emplois dans la branche automobile créés par l'achat d'un million d'euros d'automobiles) mais aussi toute la chaîne des emplois indirects (les emplois chez les équipementiers, chez les fournisseurs des équipementiers, chez les fournisseurs de leurs fournisseurs, etc.), en se limitant aux emplois situés en France, car le TES utilisé distingue les consommations intermédiaires domestiques et importées. Nous supposons une hausse annuelle de la productivité du travail et donc une baisse du contenu en emplois de 0,5 %. Ce paramètre correspond à la croissance annuelle moyenne de la productivité horaire du travail en France au cours des dernières années (Cette *et al.*, 2017) ;
- 6) Pour chaque activité et scénario, nous multiplions la demande monétaire adressée à chaque branche par le contenu en emplois de celle-ci ;
- 7) L'outil fournit ensuite les résultats sous forme de tableaux et de graphiques, pour chacune des 139 branches, et par activité, à différents niveaux d'agrégation.

L'outil TETE peut fournir une évaluation brute des emplois, c'est-à-dire sans comparaison avec une année de base ou un autre scénario. Il

7. Cette matrice indique, pour chaque couple de branches i, j , le rapport entre la consommation intermédiaire de produit i par la branche j et la production de la branche j .

peut aussi fournir une évaluation nette de l'effet sur l'emploi, qui peut être positive ou négative ; dans ce cas, le calcul peut être effectué par rapport à une année passée (2015 ou postérieure) ou bien en comparaison avec un autre scénario, par un exemple un scénario tendanciel moins ambitieux en matière de transition énergétique. Certaines activités vont générer un nombre d'emplois plus élevé dans le scénario testé que l'année passée ou que dans le scénario de référence, mais ça peut être l'inverse pour d'autres activités, par exemple dans le transport routier de marchandises ou le transport aérien. Il n'est pas donc évident *a priori* que l'effet net soit positif.

L'exemple d'utilisation présenté à la fin de cet article quantifie le résultat pour certaines activités du scénario négaWatt, qui toutes sont en croissance par rapport à aujourd'hui, et pour chaque année de 2021 à 2050.

L'outil fournit ainsi une évaluation brute des emplois mais aussi une évaluation nette au sens d'une comparaison par rapport à aujourd'hui.

1.2. Calcul de l'emploi à un niveau infranational

L'outil peut fournir également une estimation à un niveau infranational : région, département ou ensemble de communes. Dans ce cas, on multiplie la dépense adressée à la production nationale par un coefficient de localisation (CL), ce qui donne la dépense adressée à la production locale.

Le CL peut être choisi par l'utilisateur pour chaque élément et chaque année, ou bien laissé à la valeur fixée initialement. Dans ce dernier cas, on distingue deux groupes de branches. Tout d'abord, les branches dont l'emploi est typiquement local (ex : l'isolation thermique des bâtiments), pour lesquelles le CL est donc fixé à 100 %. Pour les autres branches, le coefficient de localisation est égal au rapport entre le nombre d'emplois salariés dans la zone considérée et le nombre d'emplois salariés dans la France entière, pour la branche en question. Pour une branche donnée, le CL est d'autant plus élevé que la zone considérée est importante (en nombre d'emplois) et qu'elle est spécialisée dans la branche en question.

Cette dépense adressée à la production locale est ensuite ventilée entre les 139 branches de l'économie française. On calcule alors la production locale pour chacune des branches, en multipliant le vecteur de dépense par la matrice de Leontief inverse, modifiée pour ne prendre en compte que les consommations intermédiaires produites

localement. Enfin, cette production locale est multipliée par le contenu en emplois directs de la production (en ETP/M€), ce qui donne l'emploi local par branche (en ETP).

2. De nombreux degrés de liberté pour les utilisateurs⁸

L'outil est constitué d'un tableur Excel ou LibreOffice. Il permet d'estimer l'impact sur l'emploi de multiples activités liées à la transition écologique. En revanche, il n'est pas nécessaire de renseigner toutes ces activités, ni de les renseigner forcément jusqu'en 2050. Parmi ces activités, la plupart sont liées à la transition énergétique :

- l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le logement (rénovation thermique et construction neuve, pour les logements et les bâtiments tertiaires) ;
- la construction et l'exploitation des réseaux de chaleur ;
- la production d'électricité renouvelable (éolien, solaire photovoltaïque et thermique, bois-énergie, méthanisation, géothermie, petite hydroélectricité) ;
- le nucléaire : construction et opération de nouveaux réacteurs, démantèlement, dépenses de prolongation des réacteurs existants ;
- le développement de réseaux électriques, de batteries stationnaires et d'installations de power-to-gaz (électrolyse, méthanation) ;
- la réparation de divers types d'appareils ;
- la sensibilisation par des conseillers comme ceux du réseau FAIRE ;
- le transport individuel et collectif des personnes et des marchandises : services de transport, infrastructures, véhicules.

Les principales filières de collecte et de traitement des déchets ménagers et assimilés sont également prises en compte.

Une série de paramètres sont modifiables par l'utilisateur. Il s'agit :

- du niveau géographique pour lequel les résultats seront calculés : la France (métropolitaine) entière, une région, un département, ou un ensemble de communes. L'effet sur l'emploi sera d'autant

8. Pour davantage d'informations sur l'utilisation de l'outil TETE, cf. Ademe & Réseau Action Climat France (2020).

plus limité (en valeur absolue) que le niveau géographique sera étroit, car les coefficients de localisation seront plus faibles ;

- des coefficients de localisation. Ces paramètres sont ceux dont les valeurs sont fixées par défaut, sauf pour les branches dont l'emploi est typiquement local (cf. plus haut), ils sont égaux au rapport entre le nombre d'emplois salariés dans la zone considérée et le nombre d'emplois salariés dans la France entière, pour la branche en question. Faute de TES régionalisé en France, il est difficile de faire mieux pour l'ensemble des branches, mais un utilisateur qui dispose de données spécifiques au territoire considéré peut les utiliser ;
- de la croissance annuelle de la productivité du travail (fixée à 0,5 % par défaut). Pour un scénario donné, plus cette croissance sera élevée, moins les créations d'emplois le seront, et ce en particulier pour le futur éloigné ;
- des coûts de chaque activité, de la répartition de ces coûts entre différents postes, et de l'évolution de ces coûts. Par exemple, l'utilisateur peut modifier le coût de la rénovation thermique d'un m² de maison individuelle, la répartition de ce coût entre les interventions sur l'enveloppe et celle sur le système de chauffage, et l'évolution de ces coûts au cours du temps ;
- des taux d'importation pour chaque activité et de leur évolution dans le temps. Par défaut, ces taux sont égaux à ceux de la branche à l'année de base, soit 2015. Modifier ces taux permet par exemple de distinguer deux variantes d'un même scénario, dont l'un comporterait une hypothèse de relocalisation de la production de certaines branches, afin de tester dans quelle mesure une telle relocalisation serait favorable à l'emploi.

3. Un exemple : les emplois dans la rénovation des bâtiments et les énergies renouvelables générés par le scénario négaWatt 2022

3.1. Brève présentation du scénario négaWatt 2022

Parmi les quelques scénarios de transition énergétique élaborés pour la France ces dernières années, nous avons retenu le scénario négaWatt (2022) car il offre une cohérence des flux énergétiques, un niveau élevé de détail sectoriel, l'explicitation des principaux détermi-

nants physiques de la consommation d'énergie (surfaces chauffées, nombre de voyageurs.km...) et un pas de temps annuel.

L'association négaWatt, constituée en majorité d'experts de l'énergie, a réalisé à cinq reprises (en 2003, 2006, 2011, 2017 et 2022) des scénarios énergétiques pour la France à l'horizon 2050. Par rapport au précédent, le scénario 2022 comporte deux grandes nouveautés : d'une part les émissions importées, c'est-à-dire les émissions de gaz à effet de serre engendrées par la fabrication à l'étranger de biens importés en France, sont désormais comptabilisées ; d'autre part le scénario négaWatt est couplé à un scénario négaMat qui évalue l'évolution de la consommation et de la production des principaux matériaux (acier, béton, cuivre, plastiques, lithium, etc.). Le site de l'association présente différentes documentations sur le scénario⁹.

La démarche générale de l'association consiste à partir des usages de l'énergie pour remonter aux ressources, conformément à la « trilogie négaWatt » : sobriété, efficacité, renouvelables. La sobriété consiste à agir sur le niveau d'usage (la quantité de services énergétiques). Il s'agit en quelque sorte de l'inverse de l'effet rebond (Giraudet et Quirion, 2008). L'efficacité consiste à réduire la consommation d'énergie pour une même quantité de services énergétiques. Sobriété et efficacité constituent les deux manières de réduire la consommation d'énergie. Le troisième volet consiste à remplacer les énergies de stock (fossiles, nucléaire) par les énergies de flux, c'est-à-dire les énergies renouvelables.

Le scénario est quantifié en termes physiques et non économiques : il comporte en particulier un bilan énergétique, une représentation de l'équilibre électrique au pas de temps horaire, des bilans matières pour les métaux et minéraux les plus importants et une représentation de l'agriculture, de l'alimentation et de l'usage des sols (dans le cadre du scénario Afterres2050 auquel il est couplé).

Parmi les transformations les plus importantes représentées dans le scénario, on note entre autres une rénovation thermique de l'essentiel du parc de logements et de bâtiments tertiaires, une réduction du trafic routier et aérien, ainsi qu'un recours à l'électricité et au gaz renouvelable (biogaz et gaz de synthèse) comme vecteurs énergétiques dominants à la place des énergies fossiles. Entre 2000 et 2050, la quantité d'énergie primaire diminue des deux tiers, celle d'énergie finale de

9. <https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2022#ressources>

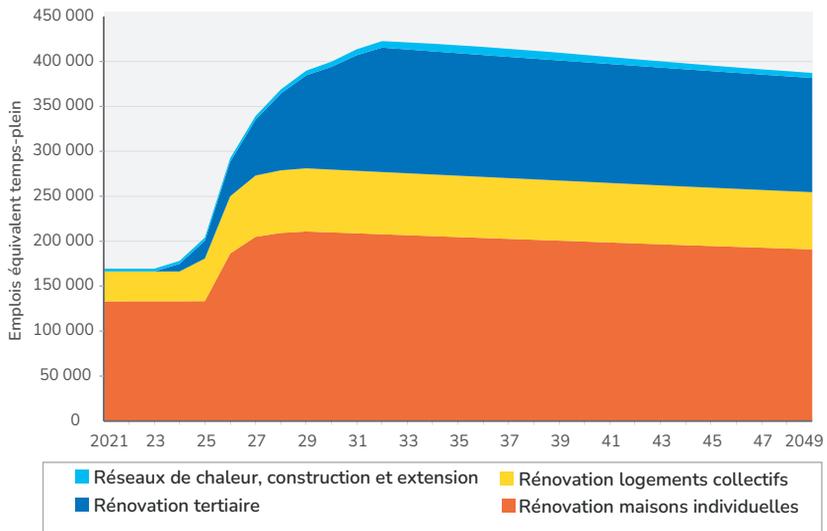
moitié, et le système énergétique est entièrement renouvelable en 2050, avec une sortie du nucléaire en 2045. À cette échéance, les émissions de gaz à effet de serre résiduelles proviennent surtout de l'agriculture. Les puits de carbone compensent les émissions de gaz à effet de serre territoriales à partir de 2047 et les émissions sur un périmètre « empreinte » (incluant celles occasionnées par les importations mais pas celles occasionnées par les biens exportés) en 2050.

3.2. Résultats

Les simulations réalisées avec l'outil TETE indiquent que la mise en œuvre du scénario entraînerait des créations d'emplois importantes¹⁰.

La montée en puissance de la rénovation thermique des bâtiments entraînerait un doublement du nombre d'emplois, avec un passage de 170 000 en 2021 à plus de 385 000 entre 2029 et 2050 (graphique 1). Ce nombre diminuerait légèrement à partir de 2030, une fois atteint un rythme de rénovations constant, à cause de l'hypothèse de hausse de la productivité du travail incluse dans l'outil TETE (+0,5 % par an).

Graphique 1. Emplois liés à la rénovation thermique et aux réseaux de chaleur



Calculs de l'auteur.

10. La feuille de calcul est disponible à l'adresse

https://www.dropbox.com/scl/fi/gx7hss187jqgztgldrwp/Outil_TETE_version_3-0-4-SnW22-v4-pour-revue-OFCE.xls?dl=0&rkey=1qulgu3ffc9uffy01u1c3wpXu

La rénovation des maisons individuelles représenterait, à partir de 2030, environ la moitié des emplois générés, le reste se répartissant entre les logements collectifs, le tertiaire et, dans une moindre mesure, les réseaux de chaleur.

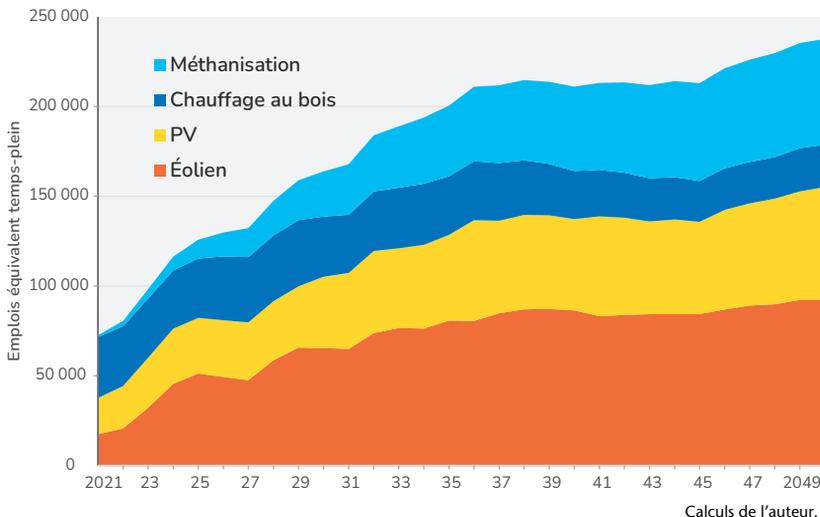
L'emploi dû à la rénovation ne croît qu'à un rythme modéré jusqu'en 2025 environ, car dans le scénario négaWatt, cette période correspond au passage de rénovations principalement par « gestes » non coordonnés (qui ne permettent pas une performance énergétique optimale à terme, cf. Ademe, 2021b) au profit de rénovations complètes et performantes, dans un premier temps à main-d'œuvre constante, puis en augmentant la main-d'œuvre. L'idée est de prendre le temps de former un très grand nombre de personnes à la rénovation performante.

Concernant les énergies renouvelables, nous avons quantifié les créations d'emplois pour l'éolien, le photovoltaïque, le chauffage au bois et la méthanisation. Pour l'ensemble de ces quatre filières, le nombre d'emplois passerait de 73 000 en 2021 à plus de 200 000 à partir de 2030 (graphique 2). Le nombre d'emplois diminuerait au cours du temps pour le chauffage au bois, principalement parce que la consommation de bois pour le chauffage des ménages baisserait grâce à une meilleure efficacité des équipements et à l'isolation des logements, et dans une moindre mesure du fait de la hausse de la productivité du travail mentionnée ci-dessus. Dans les trois autres filières, le nombre d'emplois augmenterait jusqu'en 2050, bien que les capacités nouvellement installées en éolien terrestre et en photovoltaïque diminuent en fin de période ; en effet, la croissance des emplois dans la maintenance (qui dépendent des capacités en fonctionnement) fait plus que compenser la légère baisse des emplois liés à l'installation des nouvelles capacités. La croissance de l'emploi dans la méthanisation est remarquable puisqu'on atteint 60 000 emplois en 2050, ce qui confirme les résultats d'une étude récente de GRDF utilisant la même méthode¹¹.

Avec l'outil TETE, nous avons également étudié la répartition de ces emplois entre les 139 branches de l'économie française. Le graphique 3 ci-dessous montre cette répartition de manière agrégée. La branche « construction spécialisée » (F43 de la nomenclature NAF rév. 2) compte pour environ la moitié des emplois tout au long de la période considérée, principalement parce que cette branche inclut la rénovation thermique des bâtiments. Le nombre d'emplois y faisant plus que

11. <https://projet-methanisation.grdf.fr/actualites/emploi-dans-la-filiere-biogaz-en-france>

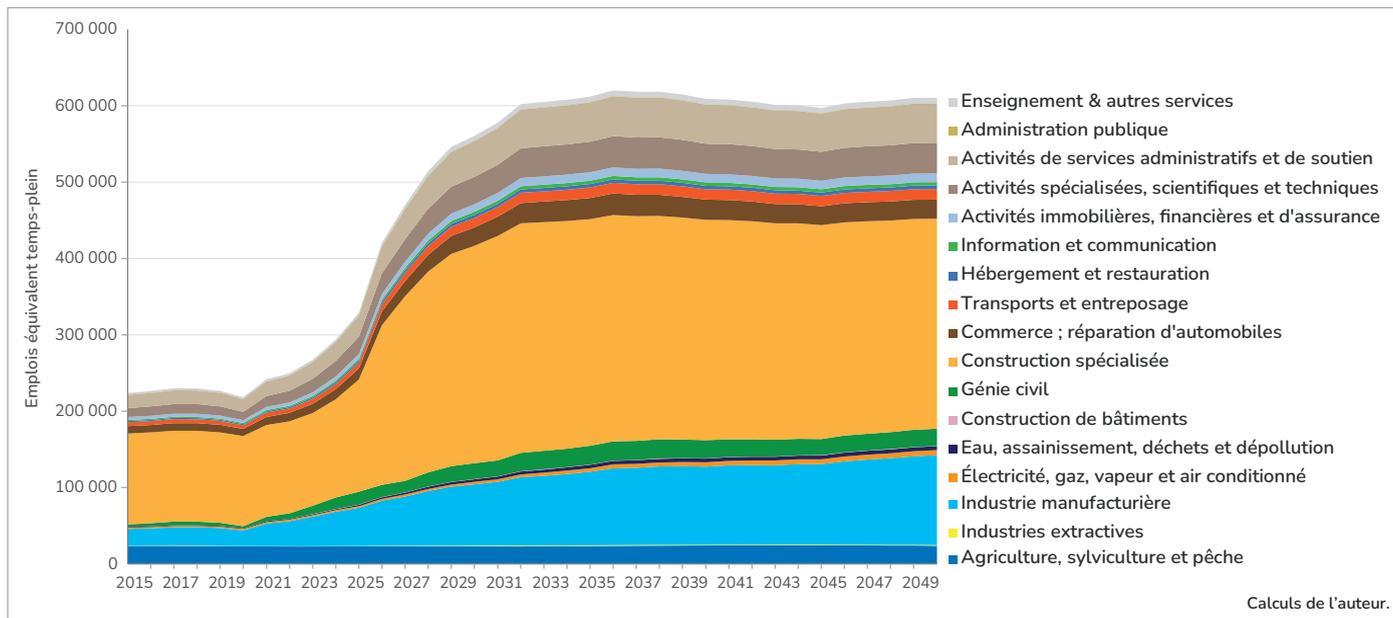
Graphique 2. . Emplois liés aux principales énergies renouvelables



doubler entre 2024 et 2032, pourvoir ces emplois constituerait un défi pour cette branche – défi qui devrait être préparé dès aujourd’hui. Pour nuancer ce propos, si l’activité dans la construction neuve se réduisait à l’avenir, par exemple du fait du ralentissement de la croissance démographique ou pour limiter les impacts environnementaux de cette activité, une réallocation des emplois entre ces deux branches pourrait atténuer cette difficulté.

L’emploi croît de manière importante dans de nombreuses autres branches, à commencer par l’industrie manufacturière qui fabrique les équipements pour les énergies renouvelables mais aussi les systèmes de chauffage installés à l’occasion de la rénovation thermique des bâtiments. Le génie civil voit aussi une croissance de l’emploi, portée par l’investissement dans les énergies renouvelables et à un degré moindre dans les réseaux de chaleur. Enfin, l’emploi croît dans différentes activités de service, entre autres du fait des études menées à l’occasion des investissements dans les énergies renouvelables.

Graphique 3. Emplois par branche



4. Conclusion

L'outil TETE permet de quantifier les emplois, directs et indirects, générés par une partie des activités économiques qui devraient être influencées par la transition écologique, ceci pour la France entière et à un niveau infranational, selon un ou plusieurs scénarios à l'horizon 2050.

L'utilisation de cet outil nous a permis de mettre en évidence les créations d'emplois dans la rénovation thermique des bâtiments et les énergies renouvelables qui résulteraient de la mise en place d'un scénario énergétique particulier, le scénario négaWatt 2022.

L'outil TETE comporte actuellement deux limites principales.

Premièrement, il ne prend pas en compte les rétroactions macroéconomiques que l'on trouve dans les modèles d'équilibre général ou macroéconomiques comme Three-ME ou Imacsim, ce qui constitue le prix à payer pour bénéficier d'un niveau élevé de désagrégation (139 branches), d'une simplicité et d'une transparence qui le rendent accessible à des utilisateurs non formés à la modélisation macroéconomique. Perrier et Quirion (2018) étudient par quels mécanismes économiques les résultats d'un outil du même type que TETE divergent de ceux d'un modèle d'équilibre général typique. Ils concluent que, pour le développement de la rénovation thermique des bâtiments et celui du solaire photovoltaïque, on peut s'attendre à des résultats assez proches.

Deuxièmement, il est centré sur la quantification des emplois (en ETP), sans traiter de la diversité des métiers dans les branches étudiées, ni de la qualité des emplois (intérêt de l'emploi aux yeux des travailleurs, conditions de travail, précarité, ...). Des réflexions sont en cours avec l'ADEME et le RAC pour enrichir l'outil TETE de ces dimensions plus qualitatives des emplois.

Remerciements

Je remercie un relecteur anonyme de la *Revue de l'OFCE* pour ses commentaires avisés, l'Ademe, le CGDD et GRDF pour avoir financé l'outil TETE et apporté leurs expertises, le Réseau Action Climat pour avoir coordonné son déploiement, ainsi que les personnes qui ont contribué à son développement, en particulier Noé Delargillière, Meike Fink, Mathilde Françon, Laurence Haeusler, Charlotte Izard, Adrien Jacob, Simon Mottet, Quentin Perrier, Valentin Sauques, Fanny Vicard et Valérie Weber-Haddad.

Merci à Stéphane Chatelin, Christian Couturier, Thierry Hanau, Nicolas Hébert, Thomas Letz, Thierry Rieser et Thierry Salomon pour avoir mis à disposition les données concernant le scénario négaWatt et répondu à mes nombreuses questions sur ce point.

Je tiens à signaler ma profonde gratitude envers le regretté Michel Husson qui vient de nous quitter trop tôt. Sans son article consacré au contenu en emplois de la demande finale et sans nos discussions sur ce thème, ce travail n'aurait pu voir le jour.

Références

- Ademe Hauts de France, 2018), *Enjeux énergétiques et emplois dans les Hauts de France. Scénarios pour la Troisième Révolution Industrielle*. <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1401-enjeux-energetiques-et-emplois-dans-les-hauts-de-france-9791029710865.html>
- Ademe Grand Est, 2020, *Impact sur l'emploi et l'économie de la transition énergétique en Grand Est. Etat des lieux 2010 et 2016 - Perspectives 2050*. <https://bibliothèque.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/4026-impact-sur-l-emploi-et-l-economie-de-la-transition-energetique-en-grand-est.html>
- Ademe Pays de la Loire, 2021, *Étude de quantification des conséquences sur l'emploi de la transition énergétique dans le cadre du Pacte de Cordemais*. <https://paysdelaloire.ademe.fr/sites/default/files/synthese-etude-emploi-transition-energetique-pacte-cordemais.pdf>
- Ademe, 2021a, *Marchés et emplois concourant à la transition énergétique dans les secteurs du bâtiment, des transports terrestres, des énergies renouvelables*. <https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4764-marches-et-emplois-concourant-a-la-transition-energetique-dans-les-secteurs-des-energies-renouvelables-et-de-recuperation-des-transport-terrestres-et-du-batiment-residentiel.html>

- Ademe, 2021b, *La rénovation performante par étape*. Rapport final. <https://bibliothèque.ademe.fr/urbanisme-et-batiment/4168-renovation-performante-par-etapes.html>
- Ademe & Réseau Action Climat France, 2020, *Guide d'utilisation de l'outil 'Transition écologique territoire emploi' (TETE)*, mars, <http://www.territoires-emplois.org>
- Bourgeois A. et Briand A., 2019, « Le modèle Avionic : la modélisation input/output des comptes nationaux », *Document de travail INSEE*, n° G2019/02.
- Bulavskaya T. et Reynès F., 2018, « Job creation and economic impact of renewable energy in the Netherlands », *Renewable Energy*, n° 119, pp. 528-538.
- Cameron L. et Van Der Zwaan B., 2015, « Employment factors for wind and solar energy technologies: a literature review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 45, pp. 160-172.
- Cassen C., Hamdi-Chérif M., Cotella G., Toniolo J., Lombardi P. et Hourcade J. C., 2018, « Low Carbon Scenarios for Europe: An Evaluation of Upscaling Low Carbon Experiments », *Sustainability*, vol. 10, n° 3, p. 848.
- Cette G., Corde S. et Lecat R., 2017, « Stagnation of productivity in France: a legacy of the crisis or a structural slowdown? », *Economie et Statistique/ Economics and Statistics*, n° 494-495-496, pp. 11-38. DOI: 10.24187/ecostat.2017.494t.1916
- EPE, 2019, *ZEN 2050 - Imaginer et construire une France neutre en carbone*. Entreprises pour l'environnement. <http://www.epe-asso.org/zen-2050-imaginer-et-construire-une-france-neutre-en-carbone-mai-2019/>
- Giraudet L.-G. et P. Quirion, 2008, « Efficiency and distributional impacts of tradable white certificates compared to taxes, subsidies and regulations », *Revue d'économie politique*, vol. 119, n° 6, pp. 885-914.
- Husson M., 1994, « Le contenu en emploi de la demande finale. *Revue de l'IRES*, hiver.
- Leontief W. (ed.), 1986, *Input-Output Economics*, Oxford University Press.
- Malliet P., Reynès F., Landa G., Hamdi-Cherif M. et Saussay A., 2020, « Assessing short-term and long-term economic and environmental effects of the Covid-19 crisis in France », *Environmental and Resource Economics*, vol. 76, n° 4, pp. 867-883.
- Markandya A., Arto I., González-Eguino M. et Román M. V., 2016, « Towards a green energy economy? Tracking the employment effects of low-carbon technologies in the European Union », *Applied Energy*, n° 179, pp. 1342-1350.
- Miller R. E. et Blair P. D., 2009, *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, Cambridge University Press.
- NégaWatt, 2022, *Rapport sur le scénario négaWatt 2022*, à paraître.

- Nösperger S., N. Damesin V. Furio et C. Chenot, 2019, *A Smart and Sustainable Vision when Assessing a Smart Urban Renovation Project: An Application Example*. ECEEE Summer Study. https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2019/5-smart-and-sustainable-communities/a-smart-and-sustainable-vision-when-assessing-a-smart-urban-renovation-project-an-application-example/
- Péronnet F. et F. Rocherieux, 1983, « Le modèle DEFI : débouchés, emplois, filières interindustrielles - Problématique, principaux concepts et applications », *Économie et prévision*, n° 58, pp. 3-20.
- Perrier Q. et Quirion P., 2017, « La transition énergétique est-elle favorable aux branches à fort contenu en emplois ? Une analyse input-output pour la France », *Revue d'économie politique*, vol. 127, n° 5, pp. 851-887.
- Perrier Q. et Quirion P., 2018, « How shifting investment towards low-carbon sectors impacts employment: three determinants under scrutiny », *Energy Economics*, n° 75, pp. 464-483.
- Riffard J.-P., 1983, « Un outil d'analyse du système productif : le modèle AVATAR », *Courrier des statistiques*, n° 26, pp. 33-36.
- Transitions, In Numeri et Smash, 2019, Étude d'impact de la filière biogaz sur l'emploi en France de 2018 à 2030. <https://projet-methanisation.grdf.fr/actualites/emploi-dans-la-filiere-biogaz-en-france>
- Vidalenc E., T. Blais, Ademe, Enerdata, Energies Demain, In Numeri, 2018, *Enjeux énergétiques et emplois dans les Hauts de France. Scénarios pour la Troisième Révolution Industrielle*. <https://librairie.ademe.fr/energies-renouvelables-reseaux-et-stockage/1401-enjeux-energetiques-et-emplois-dans-les-hauts-de-france-9791029710865.html>