

**ADEME&VOUS LA LETTRE STRATÉGIE** est une lettre d'information régulière destinée aux décideurs du monde de l'environnement et de l'énergie, partenaires et contacts de l'ADEME. Chaque numéro est consacré à la présentation d'un sujet à vocation stratégique, économique ou sociologique : recherche et études, travaux de synthèse, propositions dans l'un des domaines de compétences de l'Agence. L'objectif est de faciliter la diffusion de connaissances et d'initier réflexions et débats.



Les conséquences du changement climatique et les politiques d'atténuation envisagées posent la question de leur impact sur l'économie. Un réchauffement climatique d'ampleur aurait un coût pour l'économie mondiale et le bilan coût-bénéfice de la lutte contre le réchauffement est en faveur de l'action. En effet, les politiques d'atténuation restent neutres pour la croissance économique et pourraient même constituer une opportunité pour son développement. Mener une transition « bas carbone » stimulant l'activité et créant des emplois décents<sup>2</sup> est ainsi un enjeu majeur pour les prochaines années. Cependant, dynamiser l'activité économique est une condition nécessaire mais non suffisante à la réussite du volet emploi de cette mutation. L'enjeu est également d'accompagner la transition des métiers fragilisés par le désinvestissement dans les activités les plus consommatrices de ressources non renouvelables vers les métiers en développement. Cet accompagnement passe en premier lieu par une identification des besoins en emplois, en compétences, en qualifications et en formation qui vont naître de la mise en œuvre de la transition « bas carbone ».

## **SOUTENIR LA MUTATION EMPLOI DE LA TRANSITION « BAS CARBONE<sup>1</sup> »**

Discipline particulière de l'économie, la macroéconomie<sup>3</sup> aide à positionner les grands choix économiques des États, permettant ainsi d'orienter la demande et les investissements des entreprises, des consommateurs et des investisseurs avec l'aide des signaux économiques qui découlent de la fiscalité, des subventions, des différents outils réglementaires et des investissements publics. Pour pouvoir être sérieusement intégré dans le système de décision public, le changement climatique a été progressivement pris en compte dans les modèles macroéconomiques, suivant ainsi les grands débats relatifs au changement climatique.





Pour ce faire, la modélisation macroéconomique s'est d'abord centrée sur l'évaluation de l'impact sur la croissance économique du dérèglement du climat et des politiques d'atténuation du changement climatique, soulignant l'opportunité d'agir dès maintenant. L'enjeu est aujourd'hui de compléter ces analyses macroéconomiques en précisant les besoins en compétences, qualifications et formations associés à la mise en œuvre de la transition « bas carbone ». Ce 46<sup>e</sup> numéro de la lettre *Stratégie* présente les résultats d'une étude commandée par l'ADEME à Ernst and Young sur l'état des connaissances dans le domaine de la modélisation reliant le climat à l'économie<sup>4</sup>. Au travers de l'analyse d'une cinquantaine de publications, ce travail s'intéresse plus particulièrement aux travaux des macroéconomistes<sup>5</sup> sur les conséquences d'une

transition « bas carbone » sur le PIB, l'emploi, et les besoins qu'une telle transition induit sur le marché du travail en termes de métiers, de compétences, de qualifications et de formations. Ce panorama est complété ici par la présentation :

- du projet « Maisons de l'emploi et développement durable » piloté par l'ADEME, Alliance Villes Emploi et les Maisons de l'emploi
- des travaux de l'ADEME sur l'évaluation macroéconomique des visions énergétiques ADEME 2030-2050 et des scénarios prospectifs Énergie-Climat-Air du ministère de l'Écologie.

### UN RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE MAJEUR : UN COÛT ÉCONOMIQUE CERTAIN...

L'effort de prise en compte de l'effet du réchauffement climatique sur l'économie a été porté par une génération de modèles dits IAM (Integrated Assessment Models<sup>6</sup>) combinant des modèles climatiques, énergétiques et macroéconomiques.

À titre d'illustration, les exercices de modélisation issus de la littérature<sup>7</sup>, estiment dans le cas d'un réchauffement de 4 °C, en 2100, que les dommages du changement climatique engendreront des pertes de consommation allant de 1 %<sup>8</sup> à 5 %<sup>9</sup> du PIB mondial. En cas de réchauffement de 6 °C, les dommages représenteraient des pertes entre 5 %<sup>10</sup> et 8 %<sup>11</sup> du PIB.

*A contrario*, d'après ces travaux, l'effet (en termes de dommage) d'un réchauffement limité à 2,5 °C ne pèserait sur le PIB mondial, en 2100, qu'à hauteur de 0,7 %<sup>12</sup>.

D'autres simulations estiment si l'on ne fait rien pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), le coût total du réchauffement climatique, d'ici les deux prochains siècles, à l'équivalent d'une réduction de 5 à 20 % du PIB<sup>13</sup>.

Le réchauffement climatique aura donc un coût économique d'autant plus important que le niveau de la température moyenne mondiale sera élevé. Il est à noter que les résultats de ces travaux ne peuvent évaluer l'intégralité des pertes en bien-être, les impacts des mouvements de population ou encore les conflits pouvant résulter d'une augmentation de la température mondiale de 4 °C ou plus. De plus, une récente étude scientifique<sup>14</sup> publiée dans la revue *Nature* considère que les dommages du changement climatique sur l'économie mondiale pourraient être encore bien supérieurs à ce qui a été évalué jusqu'à présent.

### DES POLITIQUES CLIMATIQUES NEUTRES POUR LA CROISSANCE ÉCONOMIQUE ET UN BILAN COÛT/BÉNÉFICE EN FAVEUR DE L'ACTION...

Parvenir à une réduction sensible des émissions de GES pour éviter le coût du réchauffement climatique implique de réformer en profondeur les systèmes de production et de consommation d'énergie. Des travaux ont cherché à répondre aux

#### ENCADRÉ 1

### L'ÉMERGENCE DE BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX ET ÉCONOMIQUES DANS LES MODÈLES HYBRIDES

Les simulations réalisées à l'aide de modèles technico-économiques couplés avec des modèles d'équilibre général calculable évaluent généralement une transition « bas carbone » accompagnée de faibles réductions de PIB. Ces résultats s'expliquent notamment par la substitution des énergies fossiles par des énergies certes renouvelables mais en moyenne plus coûteuses à court et moyen terme, ce qui a un effet défavorable sur l'offre d'énergie. Ces modèles montrent, par ailleurs, que l'investissement dans des projets d'efficacité énergétique tend à évincer les investissements plus rentables. Cet effet pourrait être limité en introduisant une fiscalité carbone et en recyclant les recettes de cette fiscalité pour réduire des prélèvements obligatoires distorsifs, comme ceux qui pèsent sur le coût du travail. Cependant, dans ce cadre théorique, il est difficile de faire apparaître un gain pour l'économie mondiale, prise dans son ensemble, car l'essentiel des gains obtenus par les uns s'opère au détriment de la balance commerciale des autres.

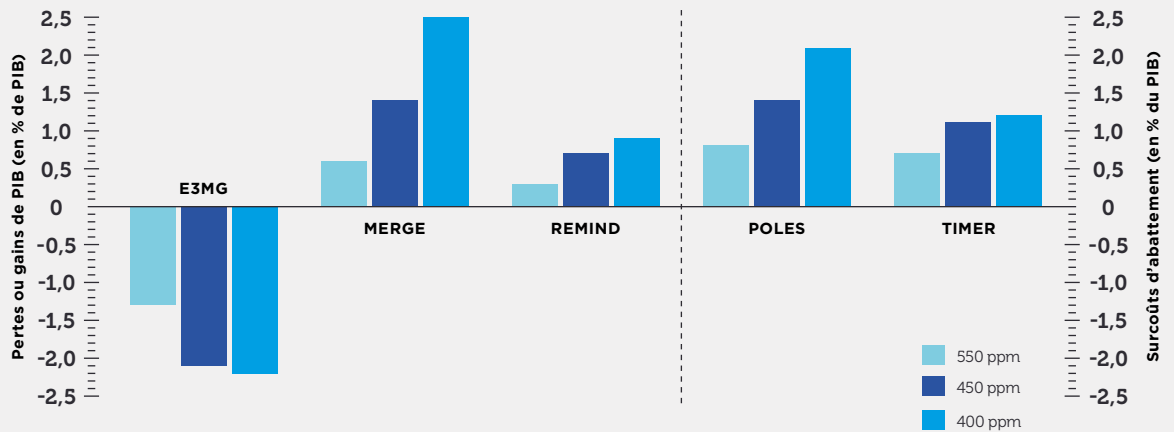
Quelques modèles hybrides, d'inspiration néokeynésienne, modélisent les imperfections de marchés et l'offre de crédit bancaire. Ils supposent que l'investissement est financé par de la création monétaire. Ainsi une entreprise n'aura pas nécessairement besoin de cesser de financer un projet plus rentable pour investir dans l'efficacité énergétique, grâce au recours à un crédit supplémentaire. L'augmentation du niveau de l'investissement global, la hausse de l'intensité en main-d'œuvre de l'économie liée au développement des énergies renouvelables, plus intensives en emploi que les secteurs énergétiques traditionnels, et la baisse de la propension à importer par le développement de filières industrielles nationales, peuvent alors engendrer un effet favorable d'entraînement sur le reste de l'économie. Il est plus aisé dans ce cas de mettre en évidence découplage absolu entre émissions de gaz à effet de serre et PIB (baisse des émissions et gains de PIB) qui résulte alors essentiellement d'une hausse de la demande interne des États plutôt que d'une amélioration de leurs soldes extérieurs. Ainsi, les simulations réalisées avec ces modèles concluent généralement à un impact de la transition « bas carbone » positif sur le PIB.

## GRAPHIQUE 1

## EFFET SUR LA CROISSANCE MONDIALE DE LA TRANSITION « BAS CARBONE » SELON CINQ MODÈLES COMPARÉS DANS LE CADRE DU PROJET ADAM (2000-2100) (6<sup>e</sup> PCDR UNION EUROPÉENNE)

### COÛT DE L'ATTÉNUATION POUR LES SCÉNARIOS 550, 450 ET 400 PPM

Source : « The Economics of Low Stabilization : Model Comparison of Mitigation Strategies and Costs ». (Edenhofer et al., The Energy Journal, volume 31, 2010)



attentes des décideurs en évaluant les modalités possibles et souhaitables de ces réformes. Cela a nécessité de construire des modèles technico-économiques (sur la production d'énergie, les bâtiments, les transports, l'industrie lourde, les technologies de rupture, l'investissement dans l'efficacité énergétique...) pour vérifier la capacité à atteindre les objectifs fixés par les politiques publiques compte tenu des contraintes physiques des systèmes énergétiques. Ces modèles permettent ainsi d'évaluer les actions à conduire au-delà de ce qui aurait été spontanément mis en œuvre par les acteurs économiques. Cependant, ils n'évaluent pas les effets de ces politiques sur le PIB ou l'emploi, ce qui constitue un élément important du débat public.

Deux types de modèles hybrides ont ainsi été conçus pour intégrer une dimension macroéconomique à des modèles technico-économiques détaillés :

- des modèles technico-économiques couplés avec des modèles d'équilibre général calculable,
- des modèles technico-économiques couplés avec des modèles de type néokeynésiens.

Par rapport aux IAM, l'intérêt de ces modèles réside dans leur capacité à décrire en détail la réalité technologique des systèmes énergétiques et à présenter des résultats spatialisés. Les exercices réalisés à partir de modèles hybrides permettent de décrire différentes trajectoires de transition « bas carbone » (en termes de mix énergétique, investissements d'efficacité énergétique réalisés, niveau de prix du carbone...) et ont montré que les effets sur la croissance

économique à moyen et long terme sont globalement neutres : les scénarios font apparaître un effet sur le PIB quasi nul, le plus souvent légèrement négatif et plus rarement positif (voir encadré 1 page 2).

Les résultats du projet ADAM<sup>15</sup>, qui confronte des modèles de plusieurs types (IAM, hybrides, technico-économique), montrent en effet :

- à partir de scénarios construits avec les modèles MERGE<sup>16</sup>, REMIND<sup>17</sup>, POLES<sup>18</sup> et TIMER<sup>19</sup>, qu'une action climatique à l'échelle mondiale, permettant de limiter la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> à 400 ppm<sup>20</sup>, serait techniquement et économiquement faisable, avec en moyenne chaque année un écart au scénario de référence compris entre -1 % et -2,5 % du PIB d'ici à 2100<sup>21</sup> (ce qui revient à constater, en moyenne, pour tout horizon fixé, un coût économique de 1 à 2,5 % du PIB). Ces résultats sont comparables à une action faible qui limiterait la concentration à 550 ppm<sup>22</sup> (écart annuel moyen de 0,5 % à 1 %);

- à partir de simulations réalisées avec le modèle E3MG<sup>23</sup>, qu'un écart annuel moyen au scénario de référence de 2 % du PIB jusqu'en 2100<sup>24</sup> pourrait s'envisager dans un scénario 400 ppm par rapport à un scénario sans action climatique (ce qui revient à constater, en moyenne, pour tout horizon fixé, un bénéfice économique de 2 % du PIB) (voir graphique 1).

Le projet AMPERE<sup>25</sup> a étudié plus particulièrement le choix entre une intervention forte à court terme, avec un prix du carbone incitatif dès la période





2010-2030, par rapport à une action repoussée à 2030-2050. Les résultats du projet suggèrent que l'Union européenne a intérêt à se lancer dès à présent dans une politique ambitieuse, même si le reste du monde ne rejoint l'effort qu'à partir de 2030. Le reste du monde ferait alors face à cet horizon à un coût macroéconomique supérieur par rapport à un scénario d'action immédiate. La perte de PIB par rapport à un scénario d'action immédiate est plus prononcée pour des pays émergents, notamment d'Asie du Sud-Est comme la Chine, où les investissements considérables nécessaires à court terme dans l'infrastructure énergétique risquent à long terme de provoquer un « verrouillage carbone » (une économie enfermée dans un système technologique basé sur les combustibles fossiles).

Ces modèles mesurent l'effet des politiques d'atténuation du changement climatique sur la croissance économique par rapport à des scénarios de référence qui ne tiennent pas compte des coûts associés au réchauffement climatique. Une analyse coûts-bénéfices qui mettrait les coûts du réchauffement au regard des coûts de l'atténuation dégagerait ainsi un effet positif de la transition sur la croissance. Le rapport de Nicolas Stern<sup>26</sup> permet d'approcher une telle analyse. Les résultats publiés indiquent que l'inaction serait selon toute vraisemblance beaucoup plus coûteuse (perte de 5 à 20 % du PIB) qu'une politique de stabilisation à 500-550 ppm<sup>27</sup>, qui, elle, coûterait 1 % du PIB mondial<sup>28</sup>. Il est à noter, par ailleurs, que les modèles

n'intègrent pas les « co-bénéfices » d'une transition « bas carbone » (amélioration de la qualité de l'air, sécurité énergétique), ce qui pourrait constituer une voie possible d'évolution des travaux.

#### UN POTENTIEL DE CRÉATION D'EMPLOIS

La plupart des études analysées dans ce travail quantifient les impacts du changement climatique et des politiques d'atténuation uniquement sur la croissance. Les travaux sur les impacts en termes d'emploi sont moins nombreux. En 2013, la Commission européenne, dans un contexte de crise de l'emploi en Europe, a réalisé une étude macroéconomique sur emploi et transition « bas carbone »<sup>29</sup>. Entre 1 et 3 millions d'emplois seraient créés d'ici 2050 dans un scénario de transition « bas carbone », par rapport à un scénario de référence<sup>30</sup>. Plusieurs évaluations s'appuyant sur le modèle ThreeME, co-développé par l'ADEME et l'OFCE, estiment que les politiques de lutte contre le changement climatique en France engendreront une création nette d'emplois (voir encadré 2).

#### ALLER PLUS LOIN ET IDENTIFIER LES EFFETS DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SUR L'OFFRE ET LA DEMANDE DE MÉTIERS, COMPÉTENCES ET FORMATIONS...

Au-delà de l'impact sur le PIB et le nombre d'emplois créés, la transition « bas carbone » aura des conséquences sur le marché de l'emploi en termes de métiers, compétences, qualifications et formations. Pour accompagner cette mutation,

### ENCADRÉ 2

## LES SIMULATIONS RÉALISÉES À L'AIDE DU MODÈLE THREEME

Le modèle ThreeME<sup>a</sup> est conjointement développé depuis 2008 par l'ADEME, l'Observatoire français des conjonctures économiques (OFCE) et le centre néerlandais de recherche scientifique appliquée (TNO). Il s'agit d'un modèle macroéconomique néo-keynésien multisectoriel.

Les résultats d'un travail réalisé sur les visions énergie 2030-2050 de l'ADEME<sup>b</sup>, montrent que la lutte contre le changement climatique entraîne un regain d'investissement, des créations d'emplois dans les filières « vertes » bien supérieures aux destructions de postes dans la branche des énergies fossiles et des filières énergivores et une nette contraction du déficit de la balance commerciale. Le scénario médian de transition énergétique (25 % de nucléaire dans le mix de production électrique), conduirait, en 2050, à un PIB de 3 % supérieur au niveau de celui qui serait le sien dans un scénario de référence tendanciel, générant ainsi la création de plus de 800 000 emplois. La population active occupée augmenterait de 3 % par rapport au scénario de référence et le taux de

chômage en pourcentage de la population active diminuerait de 1,5 point.

L'évaluation de l'impact macroéconomique des scénarios prospectifs Énergie-Climat-Air pour la France à l'horizon 2035 du ministère de l'Écologie<sup>c</sup> réalisée à l'aide du modèle ThreeME et du modèle Nemesis<sup>d</sup>, atteste également de l'impact positif de la transition énergétique sur la croissance et l'emploi. Les résultats des simulations du modèle Nemesis montrent qu'en moyenne, chaque année, un écart de PIB par rapport au scénario tendanciel de + 25 milliards d'euros pourrait être observé. Les simulations du modèle ThreeME, qui, elles, incluent la trajectoire de composante carbone de la TICPE<sup>e</sup> évaluent cet écart à + 36 milliards d'euros ou à + 1,5 % du PIB. Ceci revient à constater, en moyenne, pour tout horizon fixé, un bénéfice économique de 25 à 36 milliards d'euros de PIB, par rapport au scénario tendanciel. En moyenne, le bénéfice en emplois pour tout horizon fixé serait quant à lui compris entre 100 000 et 350 000 emplois.



## ENCADRÉ 3

## LE PROJET « MAISONS DE L'EMPLOI ET DÉVELOPPEMENT DURABLE BÂTIMENT »

AXE D'INTERVENTION	EXEMPLE D'ACTION ENGAGÉE PAR LES MAISONS DE L'EMPLOI
Doter le territoire d'outils de proximité pour faciliter l'accès à l'information	À Bordeaux, construction d'un site internet dédié et d'une newsletter mensuelle, avec des informations sur la transition énergétique, l'offre d'emploi et de formation sur les métiers de la construction durable et des énergies renouvelables, des actions exemplaires, un agenda des actions locales...
Sensibiliser et informer les entreprises aux enjeux de l'évolution des métiers du bâtiment	En Ardèche, six « 5 à 7 de l'éco-construction » par an réunissent autour de thèmes choisis (étanchéité à l'air, qualité de l'air intérieur...) des entreprises et des experts. À travers ces rencontres, la volonté partagée par les co-organisateurs est de diffuser de l'information technique sur l'écoconstruction et la performance thermique des bâtiments.
Favoriser la montée en compétences des entreprises	À Valenciennes, repérage des marchés publics de rénovation énergétique et actions auprès du maître d'ouvrage pour qu'il impose aux entreprises retenues de former tout leur personnel sur les chantiers concernés. C'est aussi la maison de l'Emploi qui organise les formations et fait le lien avec le maître d'œuvre.

Les travaux pilotés par l'ADEME, Alliance Villes Emploi et les Maisons de l'emploi ont consisté en un diagnostic du marché, des emplois et compétences des entreprises du bâtiment dans le domaine de l'efficacité énergétique et du développement des énergies renouvelables aujourd'hui et à moyen terme. Les consultations menées auprès de plusieurs milliers de professionnels au cours de ce projet ont notamment fait ressortir que ces nouvelles compétences ne sont pas encore acquises par la majorité des artisans et des salariés des entreprises travaillant sur les chantiers de la construction neuve et de la rénovation énergétique. Or, les organisations professionnelles et de nombreux acteurs accompagnent cette acquisition de compétences depuis plusieurs années.

Les Maisons de l'emploi avec leurs partenaires, ont ainsi bâti et mis en œuvre ensemble un « plan d'action », dont la finalité est d'inciter les entreprises locales du bâtiment à anticiper les évolutions de compétences et de faciliter leurs démarches, notamment de formation.

Plus de 500 actions ont été déployées sur 43 territoires engagés dans 19 régions. Ces actions s'articulent autour de sept axes d'intervention, dont il est donné quelques exemples à titre illustratif (voir tableau).

Un guide paru en 2015 restitue les enseignements de cette expérience en vue d'une démultiplication sur tous les territoires qui s'engagent aujourd'hui dans un programme de rénovation énergétique de l'habitat au titre de la transition énergétique.

- Pour une présentation du projet : <http://www.ville-emploi.asso.fr/developpement-durable/presentation/>
- Pour accéder au guide : <http://www.ademe.fr/transition-energetique-territoires-mobilisent-accompagnent-levolution-emplois-competes-filiere-batiment>

Ces actions ont permis de développer et d'expérimenter des outils et des méthodologies transférables regroupés aujourd'hui dans une « boîte à outils » accessible aux Maisons de l'emploi sur le centre de ressources de l'Alliance Villes Emploi.

construire une vision prospective de l'ensemble des interactions marchés/métiers/compétences/formations, et faire ainsi de la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences, est nécessaire.

À cette fin, des collaborations existent entre macroéconomistes et économistes du marché du travail à travers le monde. Un exercice classique, piloté par les agences statistiques ou agences pour l'emploi, consiste à traduire les prévisions macroéconomiques en évolution de la demande pour les grandes catégories de métiers et niveaux de qualification. L'objet est d'éclairer les décideurs sur les éventuels déséquilibres entre offre et demande sur le marché du travail.

Dans des pays avec des marchés du travail sous

tension comme l'Australie et la Norvège, où il existe un risque de pénurie de main-d'œuvre sur certaines compétences, des travaux approfondis sont conduits pour anticiper les besoins nationaux en formation, par niveau d'éducation et par discipline ou pour modéliser la demande pour chaque compétence, par secteur d'activité et par métier. Les modèles macroéconomiques sont alors augmentés d'un module métiers, compétences, qualifications, formations (Labour Market Extension).

Les liens entre macroéconomie et marché du travail peuvent ainsi apporter des éclairages détaillés sur les besoins d'évolution des compétences et des filières de formation





associées. Les analyses portent cependant rarement sur la transition « bas carbone ». Ainsi macroéconomie climatique et analyses des marchés du travail devraient être plus systématiquement associées, y compris dans les pays avec un taux de chômage élevé, le risque de pénurie pouvant cohabiter avec un taux de chômage important tout en freinant la croissance à moyen terme.

En France, un prérequis pour lier macroéconomie et marché du travail est de disposer, par secteur d'activité, d'une nomenclature des emplois par métier et par qualification, ce qui n'existe pas aujourd'hui.

### ACCOMPAGNER LA MOBILISATION DES « ACTEURS LOCAUX DE L'EMPLOI »

Par ailleurs, c'est dans les bassins d'emploi que vont s'opérer concrètement les mutations. Aussi, mobiliser les « acteurs locaux de l'emploi »<sup>31</sup>, en leur permettant d'appréhender collectivement

les marchés liés à la transition « bas carbone » et leurs perspectives, ainsi que la chaîne emploi/compétences/formation correspondante est indispensable. C'est pourquoi l'ADEME et Alliance Villes Emploi se sont associées dès 2008 pour conduire, avec les Maisons de l'emploi, des diagnostics territoriaux, des études prospectives et des actions visant à anticiper les besoins en emplois et en compétences des entreprises du bâtiment dans les domaines de l'efficacité énergétique et du développement des énergies renouvelables (voir encadré 3 page 5).



Contacts :  
 > [thomas.gaudin@ademe.fr](mailto:thomas.gaudin@ademe.fr)  
 > [gael.callonnec@ademe.fr](mailto:gael.callonnec@ademe.fr)

## NOTES

**1.** L'économie « bas carbone » est un modèle économique basé sur une faible consommation énergétique ainsi qu'une réduction des émissions de gaz à effet de serre. Concept nouveau, l'économie « bas carbone » n'a pas encore de définition conventionnelle. Pour la France, la Stratégie nationale bas carbone définit la marche à suivre pour mettre en œuvre la transition vers une économie « bas carbone », permettant d'atteindre les objectifs d'atténuation du changement climatique de moyen et long terme (respectivement les « budgets-carbone » et le facteur 4 à l'horizon 2050).

La transition vers une économie « bas carbone », c'est :

- une réduction des émissions de gaz à effet de serre;
- des économies d'énergie dans tous les secteurs;
- le développement des énergies renouvelables;
- un virage vers la bio-économie (valorisation du bois et des résidus agricoles);
- une amplification de l'économie circulaire (écoconception, recyclage, réemploi).

**2.** « L'environnement et le progrès social ne doivent plus être considérés comme deux fondements distincts d'un développement durable... La recherche de la durabilité ouvre une large voie au développement, avec des emplois de meilleure qualité et

plus nombreux, avec l'inclusion sociale et avec la réduction de la pauvreté. »  
 « Les emplois créés dans ce cadre ne doivent pas seulement être verts mais également décents, c'est-à-dire qu'ils doivent être productifs, fournir des revenus et une protection sociale adéquats, respecter les droits des travailleurs et leur donner voix au chapitre dans les décisions qui vont affecter leur vie »  
 Extrait du rapport V « Développement durable, travail décent et emplois verts », Bureau international du travail (Genève), Conférence internationale du travail, 102<sup>e</sup> session, 2013.

**3.** La macroéconomie est l'approche qui étudie l'économie à travers les relations existant entre les grands agrégats économiques, le revenu, l'investissement, la consommation, le taux de chômage, l'inflation... Il s'agit d'expliquer les mécanismes par lesquels sont produites les richesses à travers le cycle de la production, de la consommation et de la répartition des revenus au niveau national ou international.

**4.** « Benchmark des études et outils macroéconomiques emploi-croissance et économies de CO<sub>2</sub> » (Ernst and Young pour l'ADEME, à paraître).

**5.** Économiste spécialisé dans la macroéconomie.

**6.** Les modèles intégrés du changement climatique cherchent à traduire, dans une architecture cohérente, la chaîne qui conduit des déterminants des émissions de gaz à effet de serre aux impacts du changement climatique et à leurs répercussions socioéconomiques. Tels que décrits par P. Matarasso (Integrated Assessment Models of Global Change, 2001), les modèles d'évaluation intégrée du changement climatique décrivent les évolutions couplées des différents sous-systèmes qui composent le système terrestre tout entier. Ces sous-systèmes sont :

- les systèmes humains (production physique, économie, etc.);
- les systèmes physico-chimiques océaniques et atmosphériques;
- les systèmes écologiques marins et terrestres.

**7.** « Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis. Under executive order 12866 » (Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government, February 2010).

**8.** The Climate Framework for Uncertainty, negotiation and Distribution model (FUND, University of California - Berkeley).

**9.** The Dynamic Integrated Climate-Economy model (DICE, Yale University).

**10. FUND**

**11. PAGE** – Policy Analysis of the Greenhouse Effect, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment (LSE), Center for Climate Change Economics and Policy (CCCEP).

**12. PAGE**

**13.** En prenant en compte un réchauffement de 5° à 6° d'ici la fin du siècle. « Stern Review on the Economics of Climate Change » (Nicolas Stern, 2006).

**14.** <http://www.nature.com/nature/journal/voap/ncurrent/full/nature15725.html>

**15.** *The Energy Journal* (International Association for Energy Economics, volume 31, January 2010). Le projet ADAM, « Adaptation and Mitigation Strategy » a été conduit de mars 2006 à juillet 2009 sous l'égide de la Commission européenne. Il avait pour objectif d'identifier et d'évaluer les différentes stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique en confrontant les modèles MERGE, REMIND, POLES, TIMER et E3MG.

**16. MERGE** – Model for Estimating the Regional and Global Effects of Greenhouse Gas Reductions (PSI - Paul Scherrer Institut)

Modèle hybride, il combine une représentation « bottom up » du secteur de l'offre d'énergie avec une formulation de l'économie globale de type équilibre général.

**17. REMIND-R** – Regionalized Model of Investments and Development PIK – (Potsdam Institute for Climate Impact Research). Integrated Assessment Model.

**18. POLES** – Prospective Outlook on Long-term Energy Systems (ENERDATA, Commission européenne, Université de Grenoble-CNRS). Modèle technico-économique.

**19. TIMER** – Targets Image Energy Regional, Université d'Utrecht (Pays-Bas). Modèle technico-économique.

**20.** Permettant avec une probabilité forte de limiter le réchauffement climatique à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels. Partie par million (abrégé par ppm).

**21.** Les résultats des simulations réalisées avec les modèles MERGE, REMIND, POLES et TIMER sont donnés en coûts économiques cumulés (des pertes de PIB dans le cas de

MERGE et REMIND, des surcoûts de mesures d'atténuation dans le cas de POLES et TIMER) en % du PIB cumulé d'ici à 2100.

**22.** Une concentration à 550 ppm correspondrait à un réchauffement climatique probable supérieur à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels.

**23. E3MG** – Energy-Environment-Economy Model at the Global Level (CEDEFOP – Centre européen pour le développement de la formation professionnelle). Modèle hybride de type néokeynesien.

**24.** Les simulations réalisées avec le modèle E3MG évaluent un bénéfice économique cumulé (gain de PIB) de 2 % du PIB cumulé d'ici à 2100.

**25. AMPERE** (Assessment of Climate Change Mitigation Pathways and Evaluation of the Robustness of Mitigation Cost Estimates) est une initiative qui s'est déroulée de septembre 2011 à janvier 2014, sous la supervision du PIK (Potsdam Institute for Climate Impact Research) et a été financée par le septième programme-cadre de l'Union européenne. Le consortium a rassemblé 22 institutions originaires d'Europe, d'Asie et des États-Unis et a organisé ses travaux de validation et de comparaison sur 17 modèles énergie-économie et IAM.

**26.** « Stern Review on the Economics of Climate Change » (Nicolas Stern, 2006)

**27.** Le scénario considère une limitation de la concentration atmosphérique à 500-550 ppm  $\text{eqCO}_2$  en 2050. À long terme, avec ce niveau de concentration et les estimations de la sensibilité climatique de l'IPCC de 2001, il était estimé une probabilité de 50 % de dépasser un seuil de réchauffement moyen de 3 °C et de 50 % d'assister à un réchauffement inférieur à 3 °C. Depuis la COP 15 de Copenhague, un objectif de limiter le réchauffement climatique mondial à 2 °C au-dessus des niveaux préindustriels a été adopté par plusieurs pays. C'est aussi l'objectif de la COP 21. Pour ce faire, le dernier rapport du GIEC estime qu'il faudra probablement atteindre une concentration de GES de l'ordre 450 ppm  $\text{eqCO}_2$  ou moins en 2050. Cela reste « plus probable qu'improbable » avec les scénarios atteignant 500 ppm  $\text{eqCO}_2$  en 2100, à la condition qu'il n'y ait pas de « dépassement temporaire » du seuil des 530 ppm  $\text{eqCO}_2$ .

**28.** La publication de l'OCDE « Economic consequences of climate change » de novembre 2015 conclut également au

bénéfice d'une action d'atténuation (dans le cadre d'une analyse coût-bénéfice) : ce bénéfice pourrait atteindre 3 % du PIB d'ici la fin du siècle.

**29.** « Employment effects of selected scenarios from the energy roadmap 2050 » (final report for the European Commission, octobre 2013).

**30.** Le scénario de référence ne considère aucune mesure politique liée à la transition « bas carbone » décidée après 2015.

**31.** Collectivités, comités de coordination régionaux de l'emploi et de la formation professionnelle, organismes paritaires collecteurs agréés... : tous les acteurs mobilisés notamment dans le cadre de la table ronde n° 2 « Emploi et transition écologique » de la Conférence environnementale de 2013.

**a.** ThreeME : Modèle Macroéconomique Multisectoriel d'Évaluation des politiques Énergétiques et Environnementales.

**b.** L'évaluation macroéconomique des visions énergétiques 2030-2050 de l'ADEME (ADEME/Octobre 2013) : <http://www.ademe.fr/recherche-innovation/construire-visions-prospectives/scenarios-2030-2050-vision-energetique-volontariste>

**c.** <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Strategie-nationale-bas-carbone.html>

**d.** New Econometric Model of Evaluation by Sectoral Interdependency and Supply (SEURECO/ERASME).

**e.** TICPE : taxe intérieure sur la consommation de produits énergétiques. L'exercice de modélisation des impacts macroéconomiques des scénarios Énergie-Climat-Air a commencé avant la fin des débats parlementaires sur la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Or c'est à la fin des débats parlementaires qu'a été introduite une trajectoire de composante carbone intégrée aux tarifs de la TICPE (56 €/tCO<sub>2</sub> en 2020, 100 €/tCO<sub>2</sub> en 2030). Les scénarios ayant déjà été construits, ils n'intégraient pas cette trajectoire (la composante carbone de la TICPE est constante de 2016 à 2035 à 22 € constants/tCO<sub>2</sub>). Le modèle Nemesis n'a pas tenu compte de la nouvelle trajectoire. Avec ThreeME cependant, il a été possible de réaliser une modélisation complémentaire avec cette trajectoire.