

Énergie nucléaire et captage et stockage du carbone par la biomasse, une solution pour limiter l'augmentation de la température moyenne de surface à 1,5 °C

Le scénario Efficiency-N

Berger, A., Bles, T., Bréon, F-M., Brook, B.W., Deffrennes, M, Durand, B., , Hansen, P., Huffer.E., Grover, R.B., Guet, C., Liu, W., Livet, F., Nifenecker, H., Petit, M., Pierre, G., Prévot, H., Richet, S., Safa, H., Salvatores, M., Schneeberger, M. and Zhou, S. (2017)

Article traduit de l'original anglais "*Nuclear energy and bio energy carbon capture and storage, keys for obtaining 1.5°C mean surface temperature limit*" *Int. J. Global Energy Issues*, Vol. 40, Nos. 3/4, 2017. Traduction due à Elisabeth Huffer.

Résumé

Un développement rapide de la production d'énergie nucléaire, pour atteindre 173 EJ/an¹ en 2060 puis 605 EJ/an en 2110 permet de limiter l'élévation de la température globale moyenne de surface (GMST²) à 1,5 °C par rapport à sa valeur préindustrielle, tout en réduisant la quantité de CO₂ à stocker des 800 Gt envisagées dans le scénario MESSAGE-Efficiency originel à 275 Gt dans celui-ci, et en multipliant par 6 l'énergie primaire³ totale disponible entre 2015 et 2110.

Remerciements

Nous remercions le Dr Lixia Ren pour ses renseignements sur les réacteurs surgénérateurs.

Introduction

Pour limiter l'augmentation de la température globale moyenne de surface (GMST) à 1,5 °C par rapport à la période préindustrielle, comme le stipule le GIEC à la suite de la conférence de Paris COP21, le budget CO₂ est limité à 600 Gt de CO₂ (Figueres, C et al. (2017), IPCC COP19 (2013)) Figueres, C et al (2017) proposent un profil d'émissions qui atteint son maximum en 2025 avec environ 43 Gt/an. Afin de déterminer si un tel objectif est réaliste, nous prenons comme base le scénario MESSAGE Efficiency du GEA (2012) (Global Energy

1 1 EJ=277 TWh=24 Mtep

2 Global Mean Surface Temperature

3 Il existe plusieurs définitions de l'énergie primaire. L'énergie finale est celle payée par le consommateur.

L'énergie primaire est celle qui doit être utilisée pour fournir l'énergie finale. Elle est supérieure à l'énergie finale du fait des rendements limités (rendement de Carnot, par exemple), de pertes de transport etc.

L'énergie primaire est proportionnelle à l'énergie finale avec un facteur de proportionnalité appelé facteur de conversion. Le facteur de conversion peut être utilisé en fonction des objectifs que se fixe la société. Si on cherche à minimiser les émissions de CO₂ liées à la combustion des combustibles fossiles il est d'usage d'utiliser l'énergie primaire par substitution, c'est-à-dire la quantité d'énergie fossiles (essentiellement du charbon) qu'il faudrait utiliser pour obtenir la même énergie finale. Le facteur de conversion pour les énergies renouvelables et nucléaire est ainsi pris égal à 2,7. Dans la définition « directe » de l'énergie primaire le facteur de conversion est pris égal à l'unité.

Assessment) qui satisfait le RCP 2,6 défini par le GIEC pour limiter l'élévation de la GMST à 2 °C.

Le scénario MESSAGE-Efficiency

Le système MESSAGE développé par l'IIASA⁴ de Vienne (IIASA 2012)⁵ comprend 3 scénarios qui respectent le forçage radiatif de 2,6 W/m² (Representative Concentration Pathway - RCP 2,6) tel que défini par le GIEC - IPCC (2014) dans son cinquième rapport (AR5). Il s'agit du scénario "Supply" à forte consommation d'énergie, du scénario "Efficiency" qui suppose la fin de l'énergie nucléaire au prix d'une baisse de 45 % de la consommation d'énergie par rapport au scénario "Supply", et du scénario intermédiaire "MIX". Tous ces scénarios supposent une utilisation intensive du captage et stockage du carbone (CSC) pour atteindre 24 Gt CO₂/an en 2100 dans le scénario Supply et 15 Gt CO₂/an dans le scénario Efficiency. La réussite de la technologie CSC étant loin d'être assurée à ce stade, nous avons proposé une alternative en supposant un développement rapide et substantiel de l'électricité nucléaire, dans les scénarios Supply-N et Mix-N, qui satisfont le RCP 2,6 sans recourir au CSC. Ce travail a été publié dans IJEGEI (Berger et al 2017). L'article a été publié avant la conférence de Paris COP21. La condition RCP 2,6 conduisait à une limitation à 2°C de l'augmentation de la température globale moyenne de surface (GMST) par rapport aux conditions préindustrielles. A la suite de la COP21, le GIEC a décidé de réduire l'augmentation de la GMST à un maximum de 1,5 °C (RCP 1,9 environ). Par manque de temps, nous avons opté pour la confrontation de notre approche "nucléaire intensif" au scénario MESSAGE Efficiency en transformant celui-ci d'un scénario sans nucléaire en un scénario à forte contribution nucléaire. La raison principale de ce choix paradoxal est que Efficiency étant le scénario le plus sobre, il augmentait les chances d'obtenir un scénario en accord avec les nouvelles recommandations du GIEC.

4 International Institute for Applied Systems Analysis ,

5 Les scénarios MESSAGE couvraient la période de 2005 à 2100. Dans cet article, nous avons modifié la période considérée, pour couvrir de 2015 à 2110 du fait que l'évolution entre 2005 et 2015 a été faible

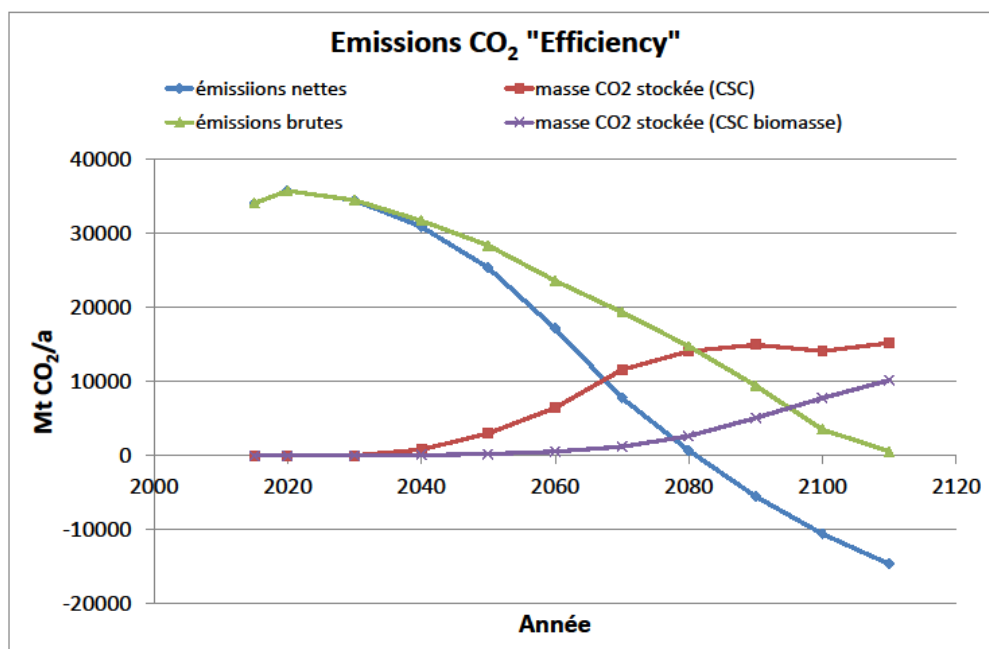


Figure 1

Émissions de CO₂ (brutes et nettes) et masse de CO₂ stockée par CSC (totale et par traitement de la biomasse) du scénario Efficiency. Nous avons décalé la référence temporelle de 10 ans par rapport au scénario originel.

La figure 1, montre que les émissions brutes de CO₂ (courbe verte - somme des émissions nettes et de la masse de CO₂ stockée par CSC) devraient s'annuler aux environs de 2110. Le captage et stockage de gaz carbonique joue un rôle important dans la décroissance de la quantité de CO₂ restant dans l'atmosphère. Sur la Figure 1, on voit également l'évolution de la masse de CO₂ séquestrée chaque année (courbe rose) proposée dans le scénario "Efficiency". Ce stockage s'élève à 15 Gt/an à la fin du siècle, avec une croissance rapide aux environs de 2050. En 2100, le CO₂ stocké par CSC est dû principalement à la production de bioénergie (BECSC - courbe mauve). La quantité cumulée de CO₂ stocké atteint 800 Gt à la fin du siècle. Reste à savoir si la séquestration d'une masse aussi énorme de CO₂ sera possible. Même au cas où la technologie serait effective, la quantité de CO₂ présent dans l'atmosphère augmenterait de 1100 Gt en 2100 alors que, si la technologie CSC ne se développait pas, cette quantité serait de 1900 Gt, trois fois plus que le budget CO₂ autorisé. Berger, A. et al. (2017) ont montré qu'un développement rapide et substantiel de la production nucléaire serait efficace pour réduire l'usage des combustibles fossiles ainsi que les émissions de CO₂ associées. Dans la suite de cet article, nous conservons le taux de croissance de la puissance nucléaire décrit par Berger, A. et al. (2017).

Nous nommons le présent scénario "Efficiency-N". La figure 2 montre la croissance de la production nucléaire avec le temps. De 2030 à 2050, la puissance nucléaire nouvellement construite s'élèverait à 2700 GWe, soit une croissance annuelle moyenne de la puissance installée de 135 GWe. Ce chiffre paraît très élevé. Cependant, il serait comparable au taux de croissance réalisé en France dans les années 1980. La production électrique en France était

d'environ 400 TWh : dans le présent scénario la production d'électricité serait d'environ 26000 TWh, soit 65 fois plus. Si on suppose un rythme de construction proportionnel à la quantité d'électricité produite, nos 2700 GWe construits en 20 ans correspondraient à 40 GWe pour la France, alors que celle-ci a construit son parc de réacteurs de 60 GWe en 20 ans.

Nous avons fait l'hypothèse initiale que chaque MWh de production nucléaire remplace 2,7 MWh de production fossile, suivant en cela la règle de substitution primaire donnée par le programme GEA. La substitution est obtenue en premier lieu en remplaçant la production d'électricité fossile par une production nucléaire, puis par le remplacement de la production fossile de chaleur (surtout par le gaz naturel) par de l'électricité et, finalement, par le remplacement de la mobilité fossile (essence, diesel, gaz naturel) par une mobilité électrique.

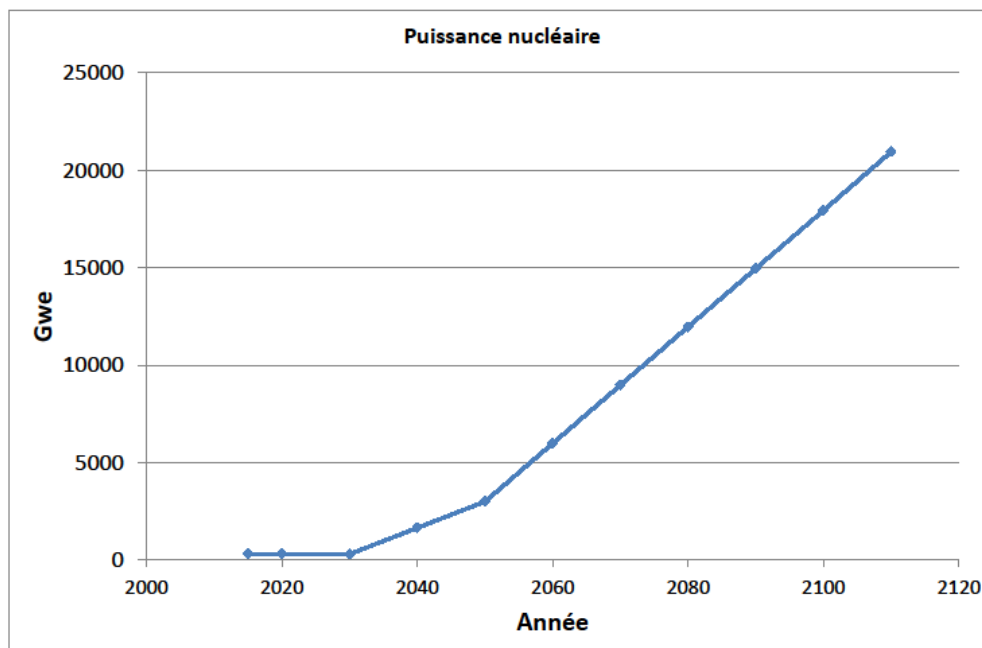


Figure 2
La puissance nucléaire commune aux scénarios MESSAGE
Supply-N, Mix-N et Efficiency-N.

Avec ces hypothèses, nous obtenons la disparition rapide de la composante fossile comme le montre la figure 3. L'utilisation des fossiles dans le secteur énergie cesserait dès 2060.

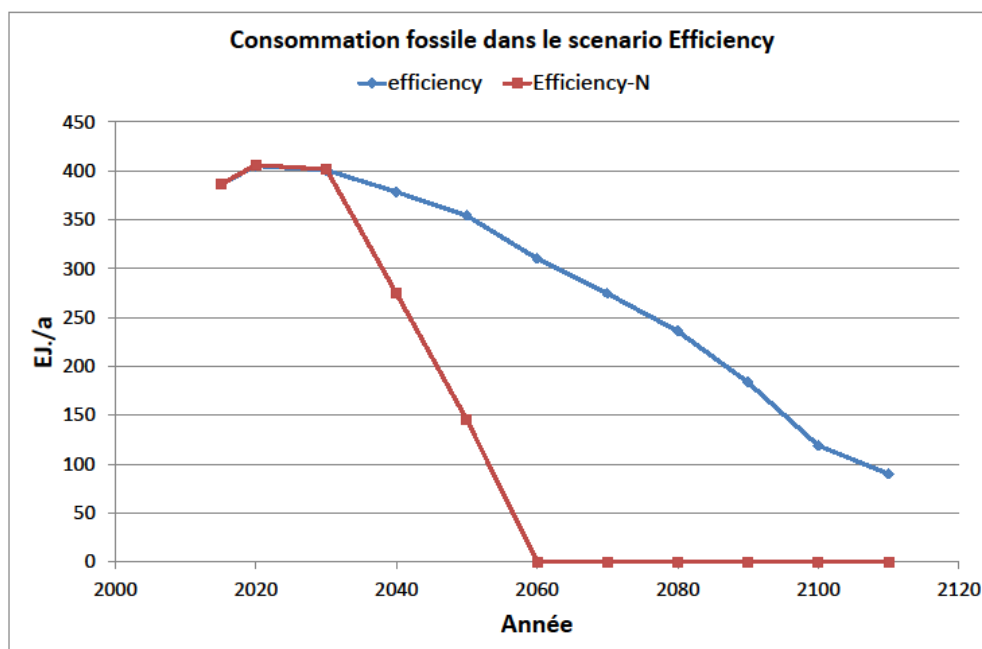


Figure 3

Consommation de fossiles dans les scénarios Efficiency et Efficiency-N.

1 EJ = 10^{12} Joules = 277 TWh = 24 Mtep

On s'attend, avec la disparition de la contribution des fossiles dans le secteur énergétique, à un comportement semblable des émissions de CO₂, comme le montre la figure 4. Dans la figure, on montre les émissions du scénario Efficiency standard avec et sans CSC. Pour le scénario Efficiency-N, les émissions de CO₂ sont montrées sans CSC, et aussi avec du CSC quand celui-ci est obtenu au seul moyen de l'énergie extraite de la biomasse (bioénergie).

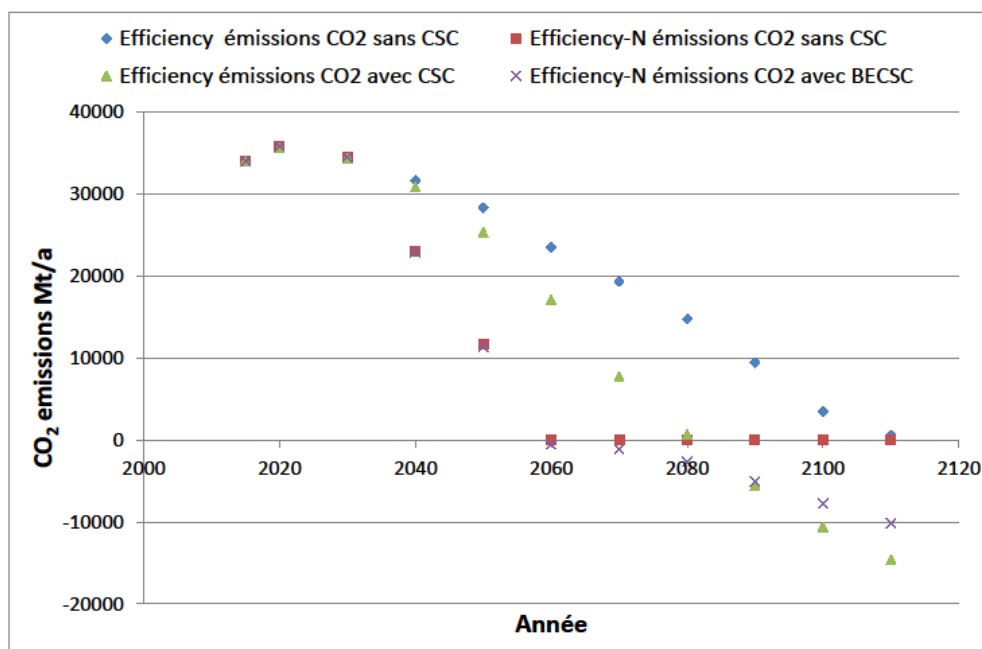


Figure 4

Émissions annuelles de CO₂ dans le scénario Efficiency d'origine avec et sans CSC, et dans le scénario Efficiency-N sans et avec CSC appliquée à la production de bioénergie.

Les trois scénarios atteignent un maximum voisin de 37 Gt/an, soit une valeur inférieure à la recommandation de Figueres, C. et al.

Dans la figure 4, les émissions négatives résultent du solde des émissions fossiles et du CSC des biocarburants. En effet, la combustion de biocarburants est considérée comme non émettrice dès lors que la biomasse consommée est compensée par une croissance égale de biomasse. Ainsi, le CO₂ capté à partir de la combustion de biomasse est soustrait au contenu CO₂ de l'atmosphère.

La figure 5 montre les émissions cumulées résultant des émissions annuelles de la figure 4.

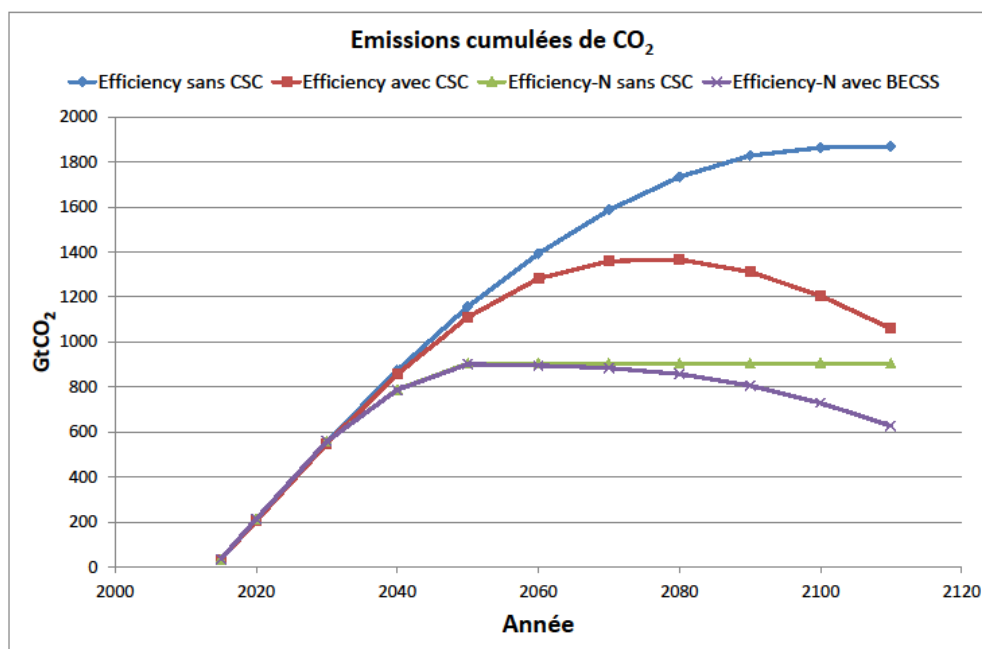


Figure 5
Emissions de CO₂ cumulées avec et sans CSC

Le scénario nucléaire Efficiency-N conduit à une stabilisation du CO₂ contenu dans l'atmosphère sans nécessiter de CSC. Il limite l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère à 800 Gt, seulement 200 Gt de plus que les 600 Gt qui permettraient, selon les climatologues, de limiter l'augmentation de la GMST à 1,5 °C. Dans la mesure où le CO₂ de l'atmosphère sera stabilisé (zéro émissions anthropiques) pendant quelque temps, il commencera à décroître du fait d'un accroissement de l'absorption par les océans et par la biomasse terrestre. On peut supposer que le niveau préindustriel de concentration de CO₂ dans l'atmosphère pourra être de nouveau atteint à la fin du 22^e siècle. Ce "retour à la normale" pourrait être obtenu plus rapidement au moyen d'une bonne gestion de la biomasse.

Captage-stockage du CO₂ de la biomasse pour rafraîchir l'atmosphère

Dans le scénario MESSAGE Efficiency, la biomasse produit 220EJ/an en 2100, surtout dans le secteur des transports. Presque la moitié de ce CO₂ est supposée captée et stockée. Si on considère que la combustion de biomasse émet 80 Mt de CO₂ par EJ, on obtient l'évolution de la masse de dioxyde de carbone emmagasinée dans l'atmosphère chaque année du fait de la combustion de biomasse de la figure 6. Cette masse doit être soustraite des émissions anthropiques de CO₂. Le résultat de cette opération est montré dans la figure 5 (courbe mauve). La condition qui correspond à la limitation à 1,5 °C de l'augmentation de la température globale moyenne de surface (GMST) par rapport à la période préindustrielle est satisfaite à 600 Gt, sur une tendance décroissante. Le CO₂ stocké s'élève à 280 Gt si le CSC n'est appliqué qu'à la bioénergie, comparé aux 800 Gt du scénario MESSAGE Efficiency originel.

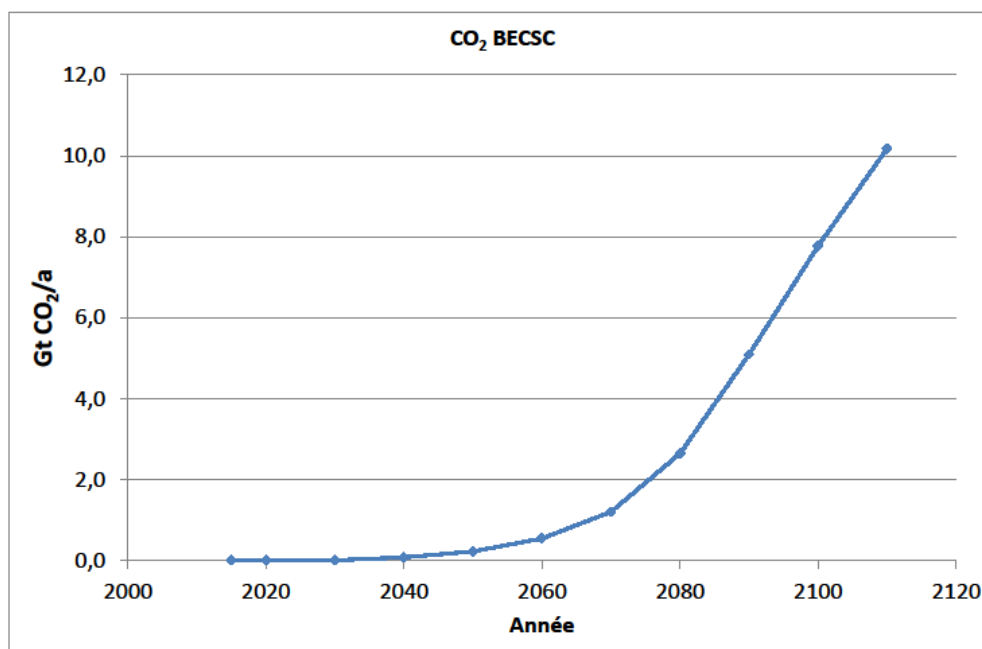


Figure 6
Évolution de la masse de CO₂ stockée annuellement avec le CSC appliqué à la bioénergie dans le scénario MESSAGE Efficiency

Utilisation du surplus nucléaire

Comme le montre la figure 3, les combustibles fossiles ne sont plus utilisés dans le secteur énergie à partir de 2060 environ. Il n'est alors plus strictement nécessaire de continuer la croissance de la production nucléaire au-delà de cette date pour réduire les émissions de CO₂. Les deux possibilités, limiter ou non la production nucléaire, sont montrées dans la figure 7.

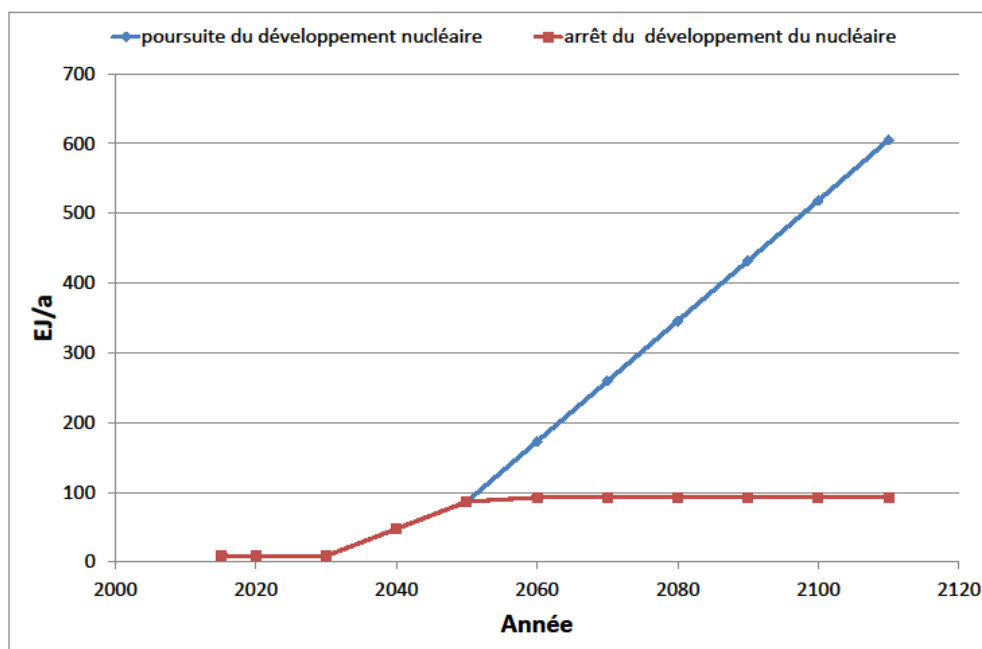


Figure 7

Développements possibles de la production nucléaire dans le scénario Efficiency-N. Le développement limité satisfait la limite de 1,5 °C dans le scénario MESSAGE Efficiency-N. La production accrue permet la production de plus d'énergie par rapport au scénario MESSAGE Efficiency d'origine et (ou) de diminuer la contribution des énergies renouvelables.

Les deux options conduisent aux mêmes schémas d'émissions de CO₂. Il peut y avoir des différences dans les consommations globales d'énergie, comme le montre la figure 8. Celle-ci montre l'évolution de la fourniture totale d'énergie primaire (TPES - Total Primary Energy Supply) dans le cas où la production nucléaire est plafonnée à 93 EJ/an et dans le cas où elle n'est pas limitée. Dans ce dernier cas, le TPES est presque le double de ce qu'il est lors du plafonnement de la production nucléaire à 93 EJ/an. Noter que, avec le plafonnement, le TPES est pratiquement égal à celui de la version sans nucléaire du scénario Efficiency. Ceci est dû à ce que nous avons appliqué la convention de substitution selon laquelle 1 MWh de production nucléaire est l'équivalent de 2,7 MWh d'énergie primaire fossile.

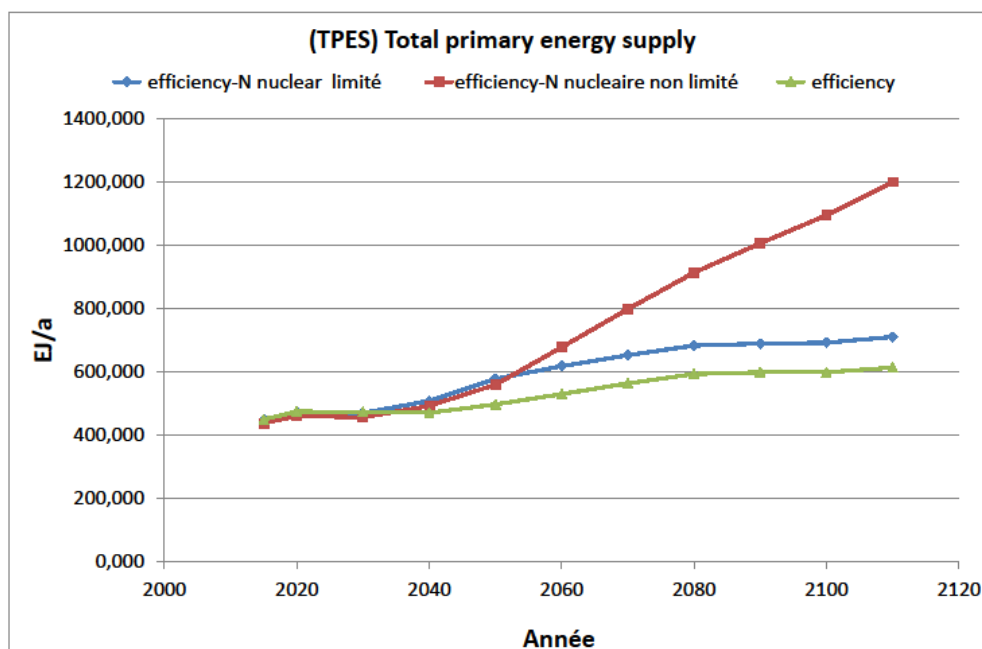


Figure 8

Énergie primaire totale (définition de l'énergie primaire selon la convention « directe » du GEA) dans le scénario Efficiency originel et dans les scénarios Efficiency-N avec et sans limitation de la puissance nucléaire.

Le surplus de chaleur issu de la production nucléaire pourrait être utilisé pour carboniser la biomasse et stocker le carbone ainsi formé dans d'anciennes mines de charbon, par exemple. Sur le plan économique, il faudrait probablement fixer un prix à ce carbone séquestré afin que l'opération soit rentable. Noter qu'après l'obtention d'une stabilisation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère en 2060 (figure 5), son rythme de décroissance n'est probablement pas un facteur essentiel, à condition que le niveau de 2000 soit atteint avant 2200.

Une autre utilisation possible de l'énergie nucléaire supplémentaire serait de diminuer la part des énergies renouvelables, dans l'éventualité où leur développement intensif rencontrerait des difficultés.

Conclusion

Le remplacement de l'énergie fossile par l'énergie nucléaire dans le scénario MESSAGE-Efficiency permet la fin de l'utilisation des fossiles en 2060 plutôt qu'en 2100. Avec un stockage de 800 Gt de CO₂, le scénario Efficiency originel conduit quand même à l'injection cumulée d'une masse de 1100 Gt de CO₂ dans l'atmosphère, alors qu'avec la séquestration de seulement 275 Gt de CO₂, dans le scénario MESSAGE Efficiency-N la masse cumulée de CO₂ injectée dans l'atmosphère se limite à 600 Gt, ce qui est compatible avec le prérequis pour les 1,5 °C. La production nucléaire nécessaire pour l'obtention de ce résultat atteint 93 EJ en 2060 (25 600 TWh), produits au moyen d'une puissance nucléaire installée de 3200 GWe. Il devrait être possible, sans conséquences négatives sur le climat,

de poursuivre le développement de la production nucléaire et d'atteindre une production de 600 EJ/an en 2110. Ceci permettrait une augmentation de la fourniture d'énergie primaire (selon la convention de l'énergie primaire « directe » du GEA) des 900 EJ/an du scénario Efficiency originel à 1300 EJ/an dans le scénario Efficiency-N. Dans le Tableau 1, nous résumons les résultats obtenus dans le scénario Efficiency-N et nous les comparons aux résultats du scénario MESSAGE Efficiency originel.

	Efficiency	Efficiency-N	Efficiency-N	Efficiency
	2015	2060	2110	2100
Fossiles EJ	386	0	0	90
Éolien+solaire EJ	0,717	96	283	283
Hydraulique EJ	10	21	23	23
Biomasse EJ	42	98	221	221
Nucléaire EJ	9	173	605 (173)	0
Énergie primaire EJ Convention GEA directe	448	388	1132(700)	617
CO ₂ /an net Gt	34	-0,5	-10,2	-14
CO ₂ /an séquestré Gt	0	0,5	10,2	15,2
CO ₂ cumulé séquestré Gt	0	8	276	801
CO ₂ cumulé injecté dans l'atmosphère Gt	34	896	627	1270

Tableau 1

Synthèse du mix énergétique et des émissions de CO₂ dans le scénario Efficiency-N en 2015, 2060 et 2110 avec deux possibilités de production nucléaire ; les nombres entre () correspondent à une production nucléaire constante après 2060.

References

- Figures, C. et al.(2017) “Three years to safeguard our climate” *Nature vol. 546 p.593*
- IPCC-COP19(2013) IPCC-COP19(2013) <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ene/geadb/dsd?Action=htmlpage&page=regions>
- IIASA (2012) <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/ene/geadb/dsd?Action=htmlpage&page=regions>
- IPCC (2014) *Fifth Assessment Report (AR5)*. Available online at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>
- Berger et al.(2017) Berger, A., Blees, T., Bréon, F-M., Brook, B.W., Hansen, P., Grover, R.B., Guet, C., Liu, W., Livet, F., Nifenecker, H., Petit, M., Pierre, G., Prévot, H., Richet, S., Safa, H., Salvatores, M., Schneeberger, M. and Zhou, S. (2017) ‘How much can nuclear energy do about global warming?’ *Int. J. Global Energy Issues*, Vol. 40, Nos. 1/2, pp.43–78.

Les auteurs

André Berger

Georges Lemaître Center for Earth and Climate Research, Earth and Life Institute,
Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium

Email: andre.berger@uclouvain.be

André Berger is Emeritus Professor and Senior Researcher at the Université catholique de Louvain. His main scientific contributions are in the astronomical theory of paleoclimates and modelling past climatic variations. He has published 300 papers and edited 13 books on climate and climate changes. He was a member of the Scientific Committee of the European Environment Agency and President of the European Geophysical Society. He is Honorary President of the European Geo-Sciences Union, member of the Academia Europaea, of the Royal Academy of Belgium, and of the academies of Canada, Serbia, Paris and the Netherlands. He received the Quinquennial Prize from the National Fund for Scientific Research in Belgium in 1995, the European Latsis Prize from the European Science Foundation in 2001 and an Advanced Investigators Grant from the European Research Council in 20

Tom Blees

Science Council for Global Initiatives, 1701 St. Clair Avenue E. North Fort Myers,
Florida 33903 USA

Email: tomsciencecouncil@gmail.com

Tom Blees is the author of [Prescription for the Planet](#) - The Painless Remedy for Our Energy & Environmental Crises. Tom is also the president of the Science Council for Global Initiatives. Many of the goals of SCGI, and the methods to achieve them, are elucidated in the pages of Blees's book. He is a member of the selection committee for the Global Energy Prize, considered Russia's equivalent of the Nobel Prize for energy research. His work has generated considerable interest among scientists and political figures around the world. Tom has been a consultant and advisor on energy technologies on the local, state, national, and international levels.

Francois-Marie Breon

Save the Climate (Sauvons Le Climat, 15 passage Ramey, 75018 Paris
France

Email: breon@lsce.ipsl.fr

Francois-Marie Bréon is a researcher at the “Laboratoire des Sciences du Climat et de l’Environnement”. His work focuses on the use of remote sensing data for a better understanding of climate and climate change processes. He participated to the development and exploitation of several satellite missions. FM Bréon was a lead author of the last IPCC report (AR5-WG1) and contributed to the chapter on Radiative Forcing and the Summary for the Policy Makers. He has authored or coauthored more

than 100 publications in the peer reviewer literature and holds a H-index of 42 (WebOfScience).

Barry W. Brook

School of Biological Sciences, University of Tasmania, Private Bag 55, Hobart, TAS 7001, Australia

Email: Barry.Brook@utas.edu.au

Barry Brook, an ecologist and modeller, is an ARC Australian Laureate Professor and Chair of Environmental Sustainability at the University of Tasmania. He is a highly cited scientist, having published three books, over 300 refereed papers, and many popular articles. His awards include the 2006 Australian Academy of Science Fenner Medal, the 2010 Community Science Educator of the Year and 2013 Scopus Researcher of the Year. His research focuses on the impacts of global change on biodiversity, ecological dynamics, forest ecology, paleoenvironments, energy, and simulation models.

Marc Deffrennes

Tulpenlaan, 24 1702 Dilbeek ,Belgique

Email : marc.deffrennes@hotmail.com

Nuclear engineer. Worked at Westinghouse-Europe from 1982 to 1991 . From 1992 to 2014 worked at the European commission (Euratom and DG Energy). From 2012, OECD NEA.

Bernard Durand

Save the Climate (SLC) and Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) .

2 rue des blés d'or, Dirée, 17530 Arvert, France

Email : bledor@wanadoo.fr

Bernard Durand is a geologist and geochemist of fossil fuels, specialist of the mechanisms and modelling of the formation of fossil fuels deposits in the Earth Crust. He is a former head of the Géologie-Géochimie division of the Institut français du pétrole et des énergies nouvelles (IFPEN), and a former director of the Ecole nationale supérieure de Géologie (ENSG). 1998 Alfred Wegener Award of the European Association of Geoscientists and Engineers(EAGE).1990 Best Paper Award of the Organic Geochemistry Division of the Geochemical Society.

Philippe Hansen

Save the Climate(Sauvons Le Climat) 15 passage Ramey 75018 Paris France

Email: hansenph@wanadoo.fr

Philippe Hansen is Graduate of the “École normale supérieure de Lyon”, France and editor of www.energie-crise.fr

Elisabeth Huffer

Email : ehuffer@sfr.fr

Elisabeth Huffer is Engineer and has a Master in particle physics. She is a member of the Energy Commission of the French Physical Society, member of X-environment, and member of the Board of 'Sauvons Le Climat'. She has co-authored several books (EDP-Sciences) on energy.

Ravi B. Grover

Homi Bhabha National Institute, Anushaktinagar, Mumbai 400094, Maharashtra, India

Email: rbgrover@hbni.ac.in

Ravi B Grover occupies Homi Bhabha Chair instituted by the Department of Atomic Energy (DAE), India and is a member of India's Atomic Energy Commission. In the initial part of his career in the DAE, he worked as a nuclear engineer specializing in thermal hydraulics and process design. Subsequently, he was involved in conceptualizing and the setting up of the Homi Bhabha National Institute (HBNI) as a university level institute and concurrent with other responsibilities, he led HBNI for about eleven years. He participated in negotiations with other countries and international agencies leading to opening up of international civil nuclear trade with India. In 2014, he was conferred India's fourth highest civilian award, the Padma Shri.

Claude Guet

Energy Research Institut@NTU Nanyang Technological University, Singapore 637141

Email: claudio.guet@gmail.com

Claude Guet is a visiting Professor at the Nanyang Technological University, Singapore, Programme Director for Research at the Energy Research Institute (ERI@N).

He is Senior Advisor to the CEO of CEA (France). During his career at CEA, he had been (as time goes backwards) Director of Nuclear Education and Training, the Chief of Staff of the High Commissioner for Atomic Energy, Chief of Science of the Military Applications Division, Head of the Department of Theoretical Physics of this Division, Head of an Atomic Physics Laboratory of the Physical Science Division.

He conducted his research activities at: CEA, Institut Laue Langevin, Institute of Theoretical Physics at Regensburg, the Niels Bohr Institute in Copenhagen, Institute for Theoretical Atomic and Molecular Physics at Harvard, Yukawa Institute of Theoretical Physics at Kyoto He is the author or co-author of more than 115 peer-reviewed papers with more than 4400 citations and an H-index of 35.

At NTU he is the director of the annual Nuclear Safety Science Summer School.

Weiping Liu

China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275(1), Beijing 102413,

China

Email: wpliu@ciae.ac.cn

Weiping Liu is Nuclear and Nuclear Astrophysics Physicist at CIAE Beijing. Also scientific deputy director of CIAE, which is a nuclear science research institute in the field of nuclear physics, nuclear chemistry and nuclear reactor. Deputy chair of IUPAP C12(nuclear physics) commission.

Frederic Livet

Université Grenoble Alpes, SIMAP-Phelma- CNRS F-3800 Grenoble, France

Email: frederic.livet@simap.grenoble-inp.fr

Frederic Livet is Emeritus Research Director at Simap-Phelma laboratory (CNRS, University of Grenoble, France). Specialist in materials engineering, phase transitions , nano-objects, magnetism. Experimentalist in x-rays and synchrotron techniques: "X-ray Photon Correlation Spectroscopy" in phase transitions and polymers. Involved in teaching for engineering students on energy techniques and energy mix."

Herve Nifenecker*

49 rue Seraphin Guimet, 38220 Vizille France, and,

Université interages du Dauphine 38000 Grenoble, France

Email: herve.nifenecker@free.fr

Herve Nifenecker is Former Nuclear and Particle Physicist at CEA Saclay and Grenoble, and, then, at CNRS Grenoble. Worked at LBL Berkeley and Niels Bohr Institute, Copenhagen. Co-founder of the Energy Commission of the French Physical Society. Founder Chairman of "Save The Climate". Leconte award of the French Academy of Science. Author of « L'énergie nucléaire a-t-elle un avenir ? Petites Pommes du Savoir », « L'énergie nucléaire : un choix raisonnable ? , EDP-Sciences», co-author of « L'énergie de demain : techniques, environnement, économie, EDP Sciences », « Accelerator Driven Subcritical Reactors , CRC Sciences »

Michel Petit

Save the Climate (Sauvons Le Climat), 15 passage Ramey 75018 Paris France

Email: michel.petit@m4x.org

Michel Petit is Former director of « National Institute of Astronomy and Geophysics » and scientific director of « Earth-Ocean-Atmosphere-Space » department of CNRS, former director of "Research and Economic and International affairs at the Environment Ministry" (1992-1994). Member of the French IPCC delegation, co-responsible of the transverse theme on scientific uncertainties and dealing with the climatic risk. Chairman of the scientific and technical section of the General Council of information technologies. Associate member of the French Academy of Sciences, editor in chief of Geoscience review (Comptes rendus de l'Académie des Sciences)

Gérard Pierre

Bourgogne University, Dijon, France
Save the Climate (Sauvons Le Climat) 15 passage Ramey 75018 Paris
France

Email: gerard.pierre18@wanadoo.fr

Gérard Pierre is Emeritus Professor at Burgundy University at Dijon in France. His main scientific contribution is in molecular spectroscopy and more particularly the greenhouse gaz. He has published more than 100 papers and edited 2 chapters of books on spectroscopy and energy. He is well known for having structured a tensorial Hamiltonian adapted to high degrees symmetrical molecules: tetrahedral, octahedral to somewhat exotic icosahedral molecules.

Henri Prévot

Save the Climate (Sauvons Le Climat) 15 passage Ramey 75018 Paris
France

Email: henri.prevot@wanadoo.fr

Henri Prévot is General Engineer at « Corps des Mines » ; author of « Trop de pétrole ! - énergie fossile et réchauffement climatique » (Seuil 2007) and « Avec le nucléaire-un choix réfléchi et responsable » (Seuil 2012).

Sébastien Richet

Save the Climate (Sauvons Le Climat) 15 passage Ramey 75018 Paris France
vbmc@scarlet.be

Sébastien Richet is specialist of the Non Proliferation Treaty (NPT) at the International Atomic Energy Agency (IAEA). I have a comprehensive education in Safeguards, am an inspector as well as a data evaluator and analyst. I am also providing lectures to our Member States and to our Staff, including Staff at large. I am used to very complex simulations (mathematical, economical and technical) for which I have heavily contributed to the development of IAEA specific tools which are recognized worldwide.

Henri Safa

International Institute of Nuclear Energy, Gif-sur-Yvette, France
Email: Henri.safa@cea.fr

Since April 2014, **Henri Safa** is the Deputy Executive Director of the International Institute of Nuclear Energy (I2EN). After graduating from an electrical engineering school and a PhD, he joins the CEA (the French Atomic Energy and Alternative Energies Commission) to carry out research at the Nuclear Physics Department. He supervised an R&D laboratory on superconducting cavities and worked on photofission applications. Henri Safa has over 100

scientific papers, filed 1 patent and published 6 books on energy. He is a CEA International Expert in Nuclear Engineering and Nuclear Instrumentation and is part of the IAEA Working Group on Nuclear Cogeneration. In addition, he provides teaching in high-level courses. He has contributed to the French energy alliance ANCRE in the frame of the energy debate launched in France in 2013, namely building energy scenarios for the future.

Massimo Salvatores

Idaho National Laboratory, Idaho Falls, ID 83401, USA

Email: salvatoresmassimo@orange.fr

Massimo Salvatores is Consultant in Reactor and Fuel Cycle Physics and Scientific Advisor at the Idaho National Laboratory. Former Head of the Reactor and Fuel Cycle Physics Division at CEA. Subsequently named Research Director.

Leader of international studies on innovative fuel cycles; presently performing basic research on nuclear data measurements, sensitivity and uncertainty analysis, advanced simulation experimental validation and on methods for innovative reactor systems.

“Grand Prix Ampère” of the French Academy of Sciences. ANS “E. Wigner” Award. Fellow of the ANS and member of INEA.

Founder of the International Summer School in Reactor Physics “Frédéric Joliot/Otto Hahn”.

More than 250 peer-reviewed articles.

Michael Schneeberger

4020 Linz, Waltherstr.17, +43 676 5206842

Save the Climate (Sauvons Le Climat), 15 passage Ramey 75018 Paris France

Email: m.schneeberger@nosuchhost.net

Michael Schneeberger did research in Nuclear fission at Austrian Research Institut, neutron and fission physics, at Institute Max von Laue Paul Langevin, Grenoble, France. Thesis on Ternary Fission Physics. From 1970 industrial activities at Siemens /Germany, project management of Fuel management of Nuclear power reactors, research projects on plutonium recycling and HTR graphite reactors, member of INFCE (International Nuclear Fuel Cycle) at IAEA Vienna, project team of first Austrian Nuclear Power Station (stopped by public vote 1979). From 1987 to 2002 CEO of ENERGIE AG, hydro and thermal production, waste management, distribution and telecommunication. Chairman of Austrian Electricity Research Group, activities at EURELECTRIC, Brussels. From 2002 international Consulting in Energy projects, graphite technology and HTR projects in China (Tsingua University). Chairman of Sino Austrian private Foundation ,actually involved in Quantum Teleportation research with Chinese and Austrian Academy of Science. Honorary member of Austrian Nuclear Association.

Bob Wornan

Saving Our Planet, Strategic Validation, 6 Montée de Maupas, 26200 Montélimar, France

Email: BobW@SavingOurPlanet.net

Bob Wornan is a former computer engineer, with a career that spanned working in the US, the UK and France. He was Technical Director at two companies in France that serviced Thyssen Steel, Dassault Falcon, the European Plan Protection Organization, and several others. Prior to that, he was the Marketing Manager for Telecommunications Systems, Europe at International Computers Ltd. He had a Senior Research Fellowship at the University of London, where he developed a model to experiment with the ArpaNet routing algorithm. At Rocketdyne Corp in the US, he was a lead in the group that developed the costing system that convinced NASA that Rocketdyne be awarded the contract to build the Space Shuttle Main Engine (SSME). Prior to that, he was a consultant to IBM for many projects.

Suyan Zhou

Institutional Delegation of EDF to China, Beijing, China

Email: suyan.zhou@edf.fr

PHD candidate, energy economist, EDF China Division,