

N° 651 / Juillet-Août 2020

Tribunes

Macroéconomie et énergie : quelles interactions ?

Valérie Mignon

Macroéconomie et énergie : les impressions d'un modélisateur

Paul Zagamé

Regards d'un pétrolier sur l'avenir des petits réacteurs modulaires

Pierre-René Bauquis

Articles

Le système électrique européen : un modèle caduc

Claude Desama

Le changement climatique à l'épreuve de la négociation !

Jean-Yves Caneill

Contenu CO₂ du chauffage électrique en France

Benjamin Haas, Florence Khayat, Isabelle Moretti

**Quelle stratégie de rénovation énergétique
pour les bâtiments collectifs ?**

Pascal Roger

**La diversification du mix électrique français :
une pseudo rationalisation**

Dominique Finon

Rubriques

Ma thèse en une page

Ekaterina Dukhanina

Il y a dix ans dans la revue

Claude Acket

Négatep : un scénario devenu hors la loi ?

Claude Acket*

L'article publié dans La Revue de l'énergie n° 956, en juillet-août 2010, par Claude Acket et Pierre Bacher, de l'association Sauvons le climat, présentait les grandes lignes du scénario Négatep sous sa première version, établie en 2007. Dix ans plus tard, peut-on faire un point d'étape ?

Négatep se place dans la continuité d'une présentation initiale, intitulée «Sortir des fossiles», établie dans le cadre du débat national DNE 2003, en préparation de la loi d'orientation 2005. En conformité aux objectifs de la loi, il visait à s'approcher du dit «facteur 4», de division des rejets de gaz carbonique.

Ce facteur 4 imposé, à la France, comme à tous les pays développés, visait en fait le facteur 2 mondial, en retenant l'absence d'imposition de réduction pour les pays en développement, permettant ainsi, compte tenu des absorptions naturelles, d'arriver à l'équilibre émission/absorption, non-augmentation du cumul dans l'atmosphère de gaz carbonique.

Depuis sa première diffusion, le scénario Négatep a été actualisé, republié en 2011 et 2017.

Négatep dans le débat énergétique

C'est sous la version Négatep 2011 que ce scénario a été présenté par Sauvons le climat, lors du DNTE (Débat National sur la Transition Énergétique) 2012-2013.

Il a été classé, au titre DEC (pour «décarboné par l'électricité») parmi les trajectoires retenues en synthèse du débat, comme indiqué ci-dessous.

Ces trajectoires se caractérisent, hors continuité, par l'importance accordée à la réduction de la demande, et un basculement marqué, entre les familles de réductions fortes (au-delà de 50 %) et celles modérées vers 20 %, alors qu'en tendance inverse, la continuité conduirait à + 30 %.

Après la réduction de la demande (sobriété/efficacité), diverses orientations apparaissent entre les scénarios, pour répondre aux besoins restants.

La distinction vient essentiellement de la place relative (et absolue) prise par l'électricité décarbonée (renouvelables et nucléaire) pour remplacer les combustibles fossiles. Ainsi, nous trouvons :

- Dans la famille SOB (pour «sobriété»), en référence le scénario Négawatt, qui suppose une réduction de la consommation finale par habitant de 60 %, associée à une production d'électricité de 516 TWh, dont 0 nucléaire, en notant une puissance totale installée de 240 GW (presque 2 fois l'actuelle).
- Dans la famille EFF (pour «efficacité»), en référence le scénario ADEME, qui suppose

* Sauvons le climat (cf. biographies p. 79-80).

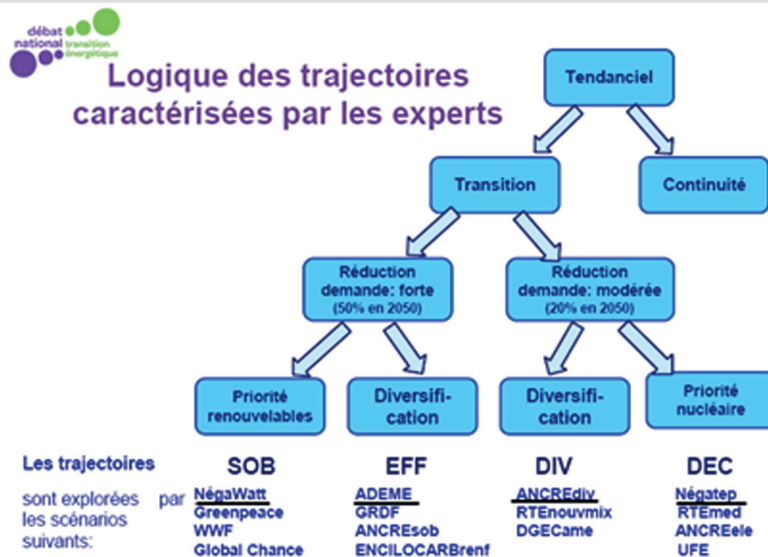


Figure 1. Logique des trajectoires caractérisées par les experts

Source : Débat National sur la Transition Énergétique

une réduction de la consommation finale d'énergie par habitant de 51 %, associée à une production d'électricité de 381 TWh, dont 95 de nucléaire.

- Dans la famille DIV (pour «diversifié»), en référence le scénario Ancre DIV, qui suppose une réduction d'énergie finale de 17 % par habitant, associée à une production d'électricité de 510 TWh, dont 250 nucléaire (environ 50 %).

- Dans la famille DEC (pour «décarboné par l'électricité»), en référence le scénario Négatep, qui suppose une réduction d'énergie finale de 29 % par habitant, associée à une production d'électricité de 990 TWh, dont 745 pour le nucléaire (valeurs un peu modifiées : 845 et 688 TWh dans la version 2017), et une puissance totale installée de 175 GW (+ 37 % sur l'actuelle).

Lors de ce débat, et bien avant toute synthèse, le gouvernement a bien montré ses a priori et orientations favorites, pour aller vers une forte réduction du nucléaire.

Ceci fut confirmé avec la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte adoptée par le Parlement en juillet 2014.

Cette loi rappelle bien l'objectif fondamental «de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050».

Mais, en confondant parfois objectifs réaffirmés, ci-dessus, et certains moyens d'y parvenir, la loi va plus loin et engage des actions spécifiques, non directement liées à l'objectif fondamental de réduire les rejets de gaz carbonique, comme :

- «une réduction de la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à la référence 2012»,
- «porter la part des énergies renouvelables à 23 % de la consommation finale brute d'énergie en 2020 et à 32 % de cette consommation en 2030».

Pour le premier point, il faut bien reconnaître que la réduction de consommation est indispensable pour atteindre le facteur 4, mais,

Négatep : un scénario devenu hors la loi ?

pour parler rejets de gaz carbonique, il faudrait remonter à l'énergie primaire, et non à l'énergie finale comme indiqué.

Une réduction de consommation peut se faire au détriment d'autres actions plus significatives pour réduire les rejets, car économiser l'énergie peut coûter très cher, contrairement à l'adage disant que l'énergie non produite ne coûte rien. Ceci peut être vrai si on parle sobriété, avec des limites santé, mais est faux si l'on parle efficacité et notamment retour sur investissement.

On peut très bien avoir une forte réduction des rejets de gaz carbonique, à même consommation énergétique finale (un exemple typique : remplacer un chauffage gaz ou fuel par une pompe à chaleur, alimentée en électricité décarbonée).

Pour le second point, s'il existe un accord total pour voir le développement des renouvelables, encore faudrait-il préciser lesquelles.

Ceci est sans nuance et non discutable lorsque l'on parle des renouvelables thermiques (dont la biomasse, le solaire chaleur...) hormis l'aspect du coût et éventuellement de bonne utilisation des terres, cela devient très discutable lorsque l'on vise les renouvelables électriques, comme l'éolien et le photovoltaïque, surtout du fait de leurs caractères variables ou intermittents. Ils doivent faire appel à un *back up* (appoint, secours) ce qui, faute de disposer de moyens de stockage à rendements et coûts acceptables, conduira à promouvoir le gaz naturel, et donc n'amènera pas à la réduction des rejets.

Mais il semblerait que le vrai objectif de la loi apparaisse dans les actions visant strictement le nucléaire, répondant ainsi à des objectifs électoraux :

- «la réduction de la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50 % à l'horizon 2025»,
- «limiter la capacité totale autorisée de production d'électricité nucléaire à 63,2 GWe.»

Nota : l'échéance à horizon 2025 a été portée à 2035, selon la déclaration de novembre 2018 du ministre de la Transition écologique.

On constate qu'en peu de temps, la loi est devenue caduque sur ce point spécifique, conduisant à tout remettre en cause, copie entière à revoir!

Une certitude : pour atteindre l'objectif de décarbonation de notre économie, il sera nécessaire de remplacer de plus en plus les énergies fossiles consommées en grande quantité dans le transport et le bâtiment par de l'électricité décarbonée.

Sur cette base, Négatep examine soigneusement les différents modes de production d'électricité sans émission de CO₂, en tenant compte des fortes contraintes techniques à respecter, pour livrer une électricité sûre et de bonne qualité, 24 h sur 24, indépendamment des aléas de la nature (vent et soleil), sans trop compter sur le bon vouloir des pays voisins et du transit exportation/importation, sans limites.

Dans la continuité des premiers travaux Négatep, nous présentons ci-dessous les caractéristiques principales à retenir de la version actualisée 2017, qui bien que non conforme à la loi de 2015, sur la question spécifique du nucléaire, a toute sa place dans le débat, en le ramenant à son objectif premier : la réduction des rejets de gaz carbonique d'un facteur 4, à moindre coût, sans a priori ni idéologie.

Négatep 2017

Pour approcher le facteur 4 de division de l'appel aux combustibles fossiles, il faut retenir les évolutions majeures de Négatep :

- Une diminution globale de la demande mesurée en énergie finale, de 20 % par rapport à aujourd'hui, alors que la poursuite de la tendance conduirait à une augmentation de 33 %, d'où un double effort sobriété/efficacité de 40 %.
- Un fort accroissement des énergies renouvelables thermiques, multipliées par 3,

dont celles liées à la biomasse, et tirées de la nature via les pompes à chaleur.

- Un fort accroissement de l'énergie électrique décarbonée en production (+ 55 %) en remplacement de l'emploi du pétrole et du gaz, pour 80 Mtep en énergie primaire.

Cet accroissement est réalisé sous ses deux formes : les renouvelables (+ 45 %), focalisées sur l'ensemble éolien/photovoltaïque (+ 95 % en énergie) et le nucléaire (+ 57 %).

La progression des renouvelables électriques est limitée, car pour l'hydraulique, la première actuelle d'entre elles, tout a déjà été pratiquement fait, et les nouvelles renouvelables butent sur l'obstacle majeur de leurs variabilités.

Il est constaté que tout scénario massivement renouvelable exigerait des investissements considérables dans le secteur électrique avec des puissances installées trois à quatre

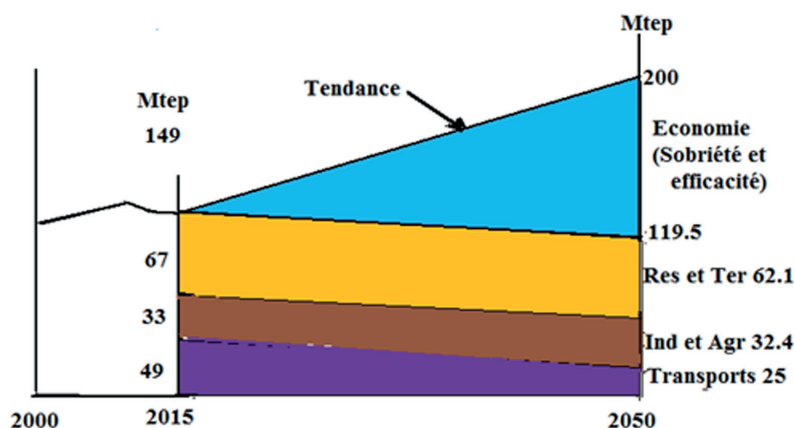


Figure 2. Énergies finales selon les postes de consommation

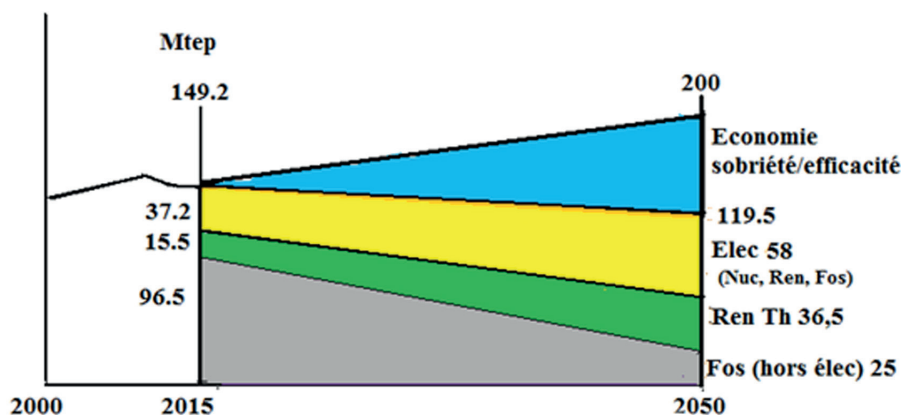


Figure 3. Énergies finales par principaux postes de production

Négatep : un scénario devenu hors la loi ?

fois supérieures à la puissance de pointe appelée, sans gain notable sur les émissions de CO₂.

Énergie finale

La consommation d'énergie finale, partant de 149,2 en 2015, alors que la tendance conduisait à 200 Mtep, arrive à 119,5 Mtep, soit – 20 % par rapport à 2015, et – 29 % par habitant (cf. Figures 2 et 3).

Renouvelables sources de chaleur

L'ensemble constitué par le bois, dit de feu, issu de la forêt, les divers déchets agricoles et ménagers, et les agrocarburants de première génération représente à ce jour environ 13,9 Mtep d'énergie primaire.

Ce chiffre pourrait plus que doubler d'ici 2050, avec la répartition donnée dans le Tableau 1.

Il faut noter qu'en parallèle au changement de génération de biocarburants, le changement de l'affectation des terres est peu modifié.

Négatep en particulier ne touche pas aux surfaces cultivées pour l'alimentation, ne prévoit pas de changement drastique des régimes alimentaires (hormis une baisse modérée des régimes carnés, qui se retrouve dans la petite réduction des prairies), tout en faisant face à l'augmentation de population (+ 13 %) et surtout ne prévoit pas de réduire la part exportée de nos produits (surplus commercial de l'agriculture et de l'agroalimentaire, essentiel pour la balance des paiements).

Pour les autres sources de chaleur (hors l'ensemble biomasse, déchets), 12 Mtep de chaleur pourraient être produits. Ceci inclut : le solaire thermique, la géothermie profonde, celle de surface et aérothermie, en notant le rôle important des pompes à chaleur.

Ceci donne un total des renouvelables « chaleur » de 47,7 Mtep en production primaire, soit + 30,3 Mtep par rapport à 2015, et 36,4 Mtep en énergie finale, soit 30 % du total.

Électricité décarbonée

Pour répondre aux besoins finaux d'électricité, mais aussi à ceux intermédiaires intervenant dans la production d'agrocarburants, la production d'électricité de Négatep est de 845 TWh, soit 49 % de plus qu'en 2015.

Cette évolution est une conséquence directe de l'objectif «facteur 4», l'électricité étant, aux côtés des économies d'énergie et des énergies renouvelables thermiques, le troisième moyen de limiter les besoins de combustibles fossiles.

Négatep 2015 à 2050, production électrique

Il faut noter le maintien d'une puissance de 20 GW de centrale à combustible fossile, au gaz naturel CCG, pour produire 20 TWh, pour faire face à certains pics de consommation de soirée d'hiver, et aussi toute l'année, pour répondre aux variations rapides de l'éolien et à moindre titre du photovoltaïque (cf. Tableau 2).

(Mtep)	Biocarburants	Chaleur	Total
Énergie finale	10	11,4	21,4
Énergie primaire	17	13,7	30,7

Tableau 1. Négatep 2050, ressources primaires en biomasse forêt, cultures spécifiques, déchets

	2015 en TWh	2050 Négatep en TWh	2050 Négatep primaire en Mtep	2050 Négatep Pi en GW
Nucléaire	437	688	179	100
Hydraulique	60,9	70	6	22
Thermique fossiles	41,3	20	4,4	20
Déchets	5	11	1	3
Éolien	21,3	45	3,9	18
Photovoltaïque	7,3	11	0,9	10
Total	573 TWh	845 TWh ¹	195 Mtep	173 GW

Tableau 2. Productions électriques annuelles et puissances installées par origine

Pour l'électricité, le passage de l'énergie finale à l'énergie primaire tient compte des pertes en ligne et de la consommation des auxiliaires. Il faut noter que contrairement à l'année 2015, le bilan exportations/importations est supposé équilibré sur l'année moyenne.

Le nucléaire

Pour répondre aux besoins de production accrus de 57 % (passage de 437 à 688 TWh), les nouvelles tranches, dites de 3^e génération, se substitueront aux tranches actuelles, au fur et à mesure des fins de vie de ces dernières.

Pour ne pas avoir l'«effet falaise» et éviter de se retrouver avec un rythme de construction calé sur celui de la fin des années 1970 (plus de 4 tranches par an certaines années), les arrêts définitifs seront programmés entre 50 et 60 ans. Cela donne un besoin de tranches nouvelles en remplacement à partir de 2027 et une fin de remplacement en 2060, donc étalé sur 33 ans, comme le montre la Figure 4.

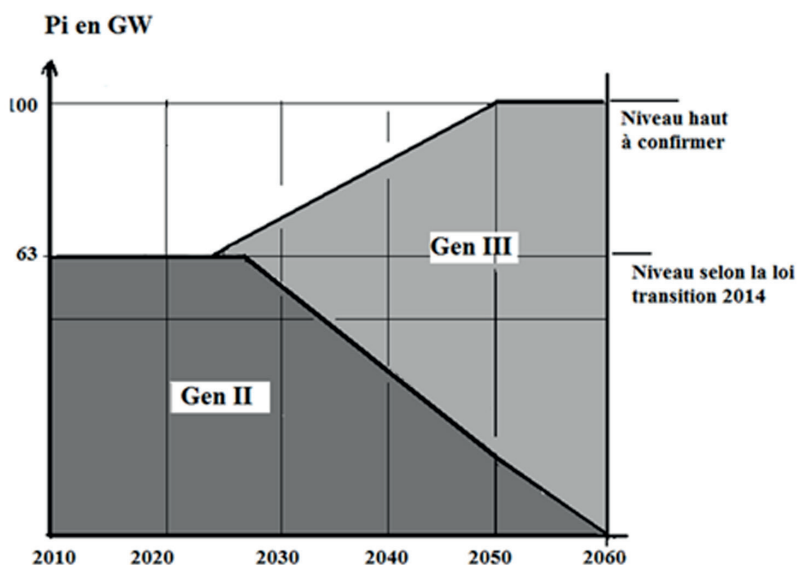


Figure 4. La transition de Gen II à Gen III selon le scénario DEC (Négatep)

Négatep : un scénario devenu hors la loi ?

	Charbon	Pétrole	Gaz	Total
Résidentiel et tertiaire			4	4
Industrie et agriculture	5	1	10	16
Transports		5		5
Production d'électricité			4,4 (20 TWh)	4,4
Total en Mtep	5	6	18,4	29,4 Mtep
CO ₂ en Mt	21,3	19,5	50	91 Mt

Tableau 3. En 2050, énergies fossiles en Mtep et rejets CO₂ en Mt par secteur

En 2050, il y aurait encore environ 16 GW de centrales de 2^e génération en service et Négatep considère qu'il faut aller au-delà de la limite des 63 GWe fixée par la loi sur la transition énergétique de 2014, et donc de prévoir comme l'indique la figure le développement d'unités de 3^e génération, au-delà du simple remplacement.

Bilan final combustibles fossiles et rejets de gaz carbonique

En 2015, les combustibles fossiles assuraient 109,2 Mtep de la production primaire, ce qui donnait 344 Mt de rejets de gaz carbonique.

Pour Négatep en 2050, ces chiffres sont tombés à 29,4 Mtep et 91 Mt de rejets, avec le détail de répartition de consommation de combustibles fossiles donné sur le Tableau 3.

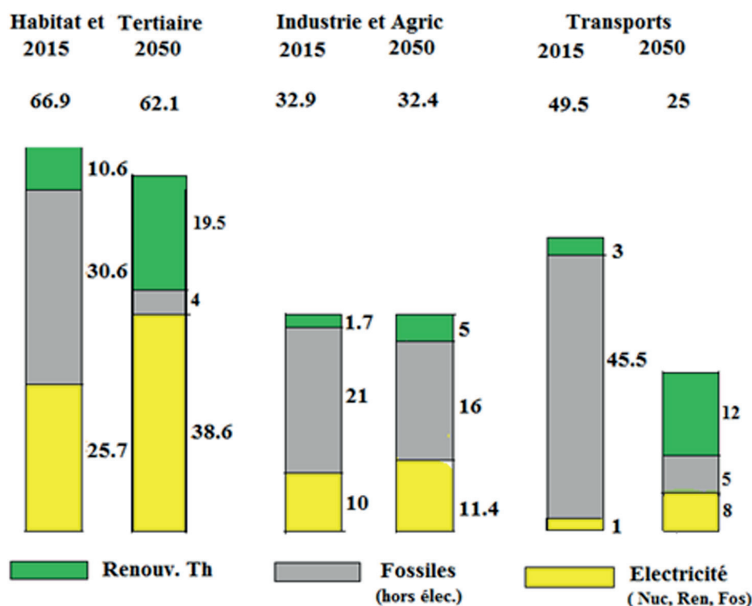


Figure 5. Négatep : de 2015 à 2050, répartition des sources d'énergie finale par famille de consommation
Une vision globale par secteur, consommation et ressources

Le remontage du scénario Négatep donne une division par 3,8 des rejets de CO₂ par rapport à l'année 2015, soit 4,4 par rapport à 1990, un peu au-delà du facteur 4. (Entre 1990 et 2015, les rejets de gaz à effet de serre ont été réduits de 16 % en France).

Conclusion

Une certitude : pour atteindre l'objectif de décarbonation de notre économie, et viser la réduction d'un facteur 4 des rejets de gaz carbonique d'ici 2050, après avoir mis l'accent sur les économies d'énergie (sobriété et efficacité), sans frôler la décroissance, après avoir fortement augmenté l'apport des renouvelables chaleur, il sera nécessaire de remplacer de plus en plus les énergies fossiles par plus d'électricité, à condition que celle-ci soit décarbonée (renouvelables et nucléaire).

Si les renouvelables sont appelés à augmenter fortement sous la forme thermique (dont la biomasse), par contre l'augmentation sous la forme de production électrique reste limitée du fait de l'obstacle majeur de l'intermittence des sources éolienne et photovoltaïque et que pratiquement tout a déjà été fait pour l'hydraulique.

En supposant que la diminution de la consommation d'énergie ne peut atteindre 50 % et en préconisant une augmentation de la capacité nucléaire, le scénario Négatep n'est pas conforme à la loi de 2015, votée après le débat national, ni à la loi en vigueur aujourd'hui.

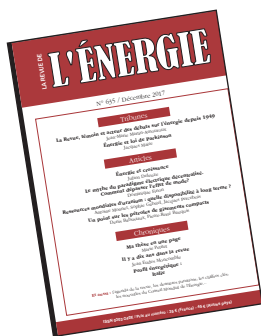
Mais il mérite sa place dans un vrai débat qui ne doit pas oublier que l'objectif premier est la réduction des rejets de gaz carbonique, à moindre coût, sans a priori ni idéologie.

RÉFÉRENCES

Pour plus de détails, voir sur le site www.sauvonsleclimat.org :

- Diviser par quatre les rejets de CO₂ dus à l'énergie, le scénario Négatep 2017.
- Négatep 2017. Analyse financière, réduire les rejets de gaz carbonique. Oui, mais à quel coût?

S'ABONNER À LA REVUE



► **Contribuer à une meilleure compréhension des enjeux et des opportunités dans le domaine de l'énergie**

► **Partager les meilleures stratégies et politiques pour favoriser la transition vers des systèmes énergétiques plus durables**

Je m'abonne à La Revue de l'Énergie pour un an (soit 6 numéros, offre intégrale – papier et numérique) dès réception du bulletin, en ligne sur www.larevuedelenergie.com ou en remplissant ce formulaire :

- ☐ tarif France 211 € TTC (TVA : 5,5 %)
☐ tarif étranger 230 € TTC

Les champs marqués d'un astérisque sont obligatoires.

M. / Mme* Nom* : Prénom* :

Organisation :

Adresse* :

Complément d'adresse :

Code postal* : Ville* : Pays* :

Téléphone :

E-mail* :

- ou ☐ Je joins un chèque à l'ordre de La Revue de l'Énergie.
☐ Je règlerai à réception de la facture.

Date : Signature :

Bulletin d'abonnement à envoyer à :

La Revue de l'Énergie – 12 rue de Saint-Quentin – 75010 Paris – France

Ou à : abonnement@larevuedelenergie.com

Des tarifs réduits (étudiants, retraités...) existent ; pour en bénéficier, écrire à :
abonnement@larevuedelenergie.com

Les informations recueillies sur ce formulaire sont enregistrées dans un fichier informatisé par La Revue de l'Énergie pour la gestion de votre abonnement. Conformément à la loi « informatique et libertés », vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à leur transmission éventuelle en écrivant à la rédaction à : redaction@larevuedelenergie.com

www.larevuedelenergie.com