

Géologues

REVUE OFFICIELLE DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
Géosciences appliquées

**50
ans**

Quelles énergies pour demain ?

Géologues

DIRECTEUR DE PUBLICATION :
Sylvain CHARBONNIER

RÉDACTEUR EN CHEF :
Marc BLAIZOT

CHARGÉ DE MISSIONS :
Gérard SUSTRAC

COMITÉ DE RÉDACTION :

• SECTION GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR

Marc BRISEBARRE
Marianne CHAHINE
Denis FABRE

• SECTION EAU

Jean-Pierre FAILLAT
Anthony LE BEUX
Lahcen ZOUHRI

• SECTION GÉOPHYSIQUE

Antoine BOUVIER
Christian HERRISSON
Jean-Marc MIEHE

• SECTION SUBSTANCES MINÉRALES

Michel BORNUIAT
Michel JÉBRAK
Alain LIGER
Christian POLAK
Véronique TOURNIS

• SECTION ÉNERGIE

Jean-Jacques JARRIGE
Alain MASCLE
Daniel NORMAND
Valérie VÉDRENNE

• SECTION ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE

Christian BECK
Roselyne FRIEDENBERG
Didier NECTOUX
Cyril SCHAMPER

MISE EN PAGE ET COUVERTURE :
COM'IN - 45000 ORLEANS

*Géologues est la revue officielle de la
Société Géologique de France.*

Géosciences Appliquées.

*Association loi de 1901, fondée en 1830
et reconnue d'utilité publique par
Ordonnance du Roi du 3 avril 1832.*

SIÈGE SOCIAL :

77, rue Claude Bernard - 75005 PARIS
Téléphone : 01 43 31 77 35
Télécopie : 01 45 35 79 10
E mail : accueil@geosoc.fr
Site Internet : www.geosoc.fr

Imprimé en France par
CHEVILLON IMPRIMEUR
89101 SENS

Commission paritaire
CPPAP n°0120G82626
Tirage : 700 exemplaires
Dépôt légal à parution



Marc Blaizot¹,
Rédacteur en chef
de « Géologues »



Jean-Jacques Jarrige²,
Membre de la section Énergie
de « Géologues »

Avec ce numéro 192, nous achevons le cycle du cinquantenaire de notre revue, "Géologues" créée en 1966. À travers ces cinq numéros consacrés respectivement à l'Aménagement, au Potentiel minier français, à la Formation et l'Emploi, à l'Eau et aux Énergies, nous avons pu visiter nombre de domaines où les géologues sont employés traditionnellement mais où ils ont su renouveler leurs pratiques, leurs approches et même leur philosophie. En effet, ils ont mis désormais au cœur de leurs activités et de leurs pédagogies, l'appropriation sociétale et la sécurité humaine et environnementale de leurs projets, condition *sine qua non* de leurs réussites. Ce qui impacte le plus nos domaines d'intervention est certainement la « transition énergétique », nécessité incontournable pour atténuer le défi climatique, qui doit nous interroger sur l'importance de la géologie et du rôle des géologues dans ce futur proche. Nous avons vu combien était prégnante cette problématique sur les aménagements, l'eau ou les minerais. Mais, même si nous avons été de tout temps en transition énergétique, jamais nous n'avions été confrontés à une telle urgence et à des conséquences aussi « révolutionnaires ».

Les variations cycliques des prix du pétrole font souvent s'interroger le grand public sur l'avenir des énergies fossiles, leurs pérennités ou même leurs potentielles pénuries. En effet, le moindre écart entre production et consommation, souvent généré par des politiques économiques et monétaires d'austérité ou de compétitivité renforcées, déclenche des à-coups imprévisibles toujours néfastes. Que peuvent nous réserver les années qui viennent ? Retrouverons-nous des périodes de prix haut, liés à la raréfaction des ressources mobilisables ou encore une nouvelle baisse des prix liée à la diminution de la demande ? S'interroger sur ce sujet, c'est d'abord, s'interroger sur l'*avenir économique et industriel des énergies fossiles* qui ont assuré depuis près d'un siècle et ce malgré l'augmentation démographique exponentielle de la population, la croissance permanente de la richesse mondiale, l'effacement progressif de la faim et de la misère même si ces combats sont toujours à poursuivre, et la généralisation de la circulation des hommes, des biens et des idées.

Plusieurs facteurs conduisent à diminuer la quantité d'hydrocarbures utilisés dans la vie quotidienne ; économies et efficacité énergétique dans les logements, les transports individuels ou collectifs et dans l'industrie, craintes pour le bon état de la planète ou notre santé, nouvelle conscience écologique... Les conclusions de la COP 21, à Paris, en décembre 2015 prévoyant l'équilibre complet entre émissions et séquestrations du CO₂, dès 2050 et les résultats de l'accord de Kigali en Octobre 2016 (élimination totale des hydrofluorocarbures en 2028) vont dans la même direction : réduction significative de l'usage des hydrocarbures, considérée comme le levier principal d'atténuation du risque climatique.

Mais par ailleurs, l'augmentation toujours conséquente de la population mondiale à venir (Inde, Afrique, Amérique du Sud) qui devrait passer de 7 à 9 milliards d'individus à la fin du siècle, la volonté de chacun de toujours améliorer son existence et celle de ses enfants créent des besoins nouveaux tant quantitatifs que qualitatifs dans tous les domaines, principalement agricoles et sanitaires, *qui accroissent la pression pour fournir de ... l'énergie*. Car, sans énergie, pas d'eau potable, pas d'irrigation et donc pas de production agricole, pas de transformations des produits bruts... la liste est longue des besoins vitaux qui ne seraient plus satisfaits conduisant à des affrontements destructeurs.

Alors quelles énergies vont devoir être développées pour diminuer la part des carburants fossiles tout en permettant de satisfaire ces nouveaux besoins ? Dans le mix énergétique du XXI^e siècle, combien nous faudra-t-il de *mégawatts d'origine carbonée et non carbonée*, sachant le caractère intermittent de la production d'une partie de cette dernière ? C'est à ces questions délicates, car planétaires et semées d'embûches tant il nous est difficile, comme le disait ironiquement Winston Churchill, de prévoir le futur même si nos prévisions climatiques sont malheureusement de plus en plus fiables, que les articles qui suivent vont essayer de répondre. Ils tentent de décrire, pour chaque grande filière énergétique, leurs réalisations récentes, leurs potentiels, leurs coûts économiques et écologiques, leurs risques et impacts sociétaux. Pour nous géologues, ces contraintes sont d'abord des défis mais également de belles opportunités pour être, plus encore, indispensables à la bonne marche du monde de demain !

1. Courriel : marc.blaizot@laposte.net

2. Courriel : j.j.jarrige@wanadoo.fr

Photo de première de couverture : Deux entreprises emblématiques des filières énergétiques françaises (cliché Marc Blaizot - Mars 2017).

4 CINQUANTAIRE

Notre belle cinquantenaire... raconte 4
Alain Perrodon

8 REGARDS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

De la nécessité d'une vision géologique
du changement climatique 8
Edouard Bard

L'évolution de la teneur atmosphérique en CO₂, au cours
des 540 derniers millions d'années 12
Yves Goddérès

Conclusions de la COP21 et mises en œuvre ;
comment décliner ces résolutions en France
et dans quelques autres pays ? 17
Stéphanie Croguennec et Gwenaël Podesta

« Après la COP de Paris, comment réaliser l'impossible ! » 21
*INTERVIEW de Jean-Marc Jancovici, le 01/12/16 - Paris –
par Marc Blaizot*

25 ANALYSE COMPARÉE DES FILIÈRES

Quelles énergies domineront la fin du siècle ? 25
Jean-Luc Salanave

Les Facteurs d'émissions relatifs aux filières de production
d'énergie, une comparaison 31
Véronique Tournis

L'efficacité des énergies primaires dans la génération électrique.
Quelques indicateurs de comparaison 33
Philippe Charlez

Le juste ? prix de l'Énergie 37
Philippe Charlez

Les risques HSE des filières énergétiques (énergies primaires) :
une comparaison 42
Didier Drapeau

52 LE POTENTIEL DES ÉNERGIES RENEUVELABLES

La géothermie : quelles perspectives,
notamment pour la haute température ? 52
Jacques Varet

Production de chaleur et de froid géothermique en France 60
Christian Boissavy

Storengy et la Transition Énergétique 64
Stéphane Galibert et Yann Samson

L'hydroélectricité : une technologie
mature mais pleine... d'avenir ! 68
Frédéric Louis

Le projet Romanche-Gavet : le plus grand chantier actuel
de construction hydroélectrique en France, au sud de Grenoble 73
Gérard Sustrac, avec l'aide d'EDF Unité de production Alpes

État des lieux et perspectives de l'éolien terrestre
et des énergies marines renouvelables en France 78
Paul Duclos et Marlène Kiersnowski

Le Parc éolien en mer de Fécamp 83
Marc Brisebarre

Un état des lieux de l'énergie solaire à travers le monde 86
Grégory Fléchet

Le biométhane : un gaz renouvelable au service
de la transition énergétique 92
Julie Pinel et Younes Belarbi

Les défis d'une transition énergétique
sur une commune isolée : l'île de Sein 96
Henri Le Bars et Yves Boulay

99 LE POTENTIEL DES ÉNERGIES FOSSILES

Le potentiel de la filière nucléaire dans un contexte de réduction
des coûts et dans le cadre des conclusions de la COP 21 99
Christian Polak

Cycle uranium ou cycle thorium ? 103
Bertrand Barré et Christian Polak

Ressources et productions futures en hydrocarbures fossiles 105
François Alabert

Le XXI^e siècle : faim ou fin du charbon ? 117
Marc Blaizot

Le projet de production de gaz de charbon en Lorraine
porté par La Française de l'Énergie 122
Romain Chenillot