

# Géologues

Géosciences et Société

Dossier

## *Les ouvrages sur sols évolutifs*

Une coédition



**DIRECTEUR DE PUBLICATION :**

François BAUDIN

**RÉDACTEUR EN CHEF :**

Marc BRISEBARRE

**CONSEILLER PUBLICATIONS :**

François LEPARMENTIER

**COMITÉ DE RÉDACTION :**

- **SECTION GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR**  
Marianne CHAHINE  
Denis FABRE
- **SECTION EAU**  
Jean-Pierre FAILLAT  
Anthony LE BEUX  
Lahcen ZOUHRI
- **SECTION GÉOPHYSIQUE**  
Antoine BOUVIER  
Christian HERISSON  
Jean-Marc MIEHE
- **SECTION SUBSTANCES MINÉRALES**  
Patrice CAUMARTIN  
Michel JÉBRAK  
Christian POLAK  
Véronique TOURNIS
- **SECTION ÉNERGIE**  
Marc BLAIZOT  
Eléonore DALMAIS  
Jean-Marc FLEURY  
Jean-Jacques JARRIGE
- **SECTION ENSEIGNEMENT ET RECHERCHE**  
Christian BECK  
Roselyne FRIEDENBERG  
Cyril SCHAMPER
- **SECTION AFFAIRES PROFESSIONNELLES**  
Eric MARCOUX
- **SECTION JEUNES**  
Edith KUBIK

**SECRÉTARIAT DE RÉDACTION :**

redac.geologues@geosoc.fr

*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  
01 43 31 77 35 - accueil@geosoc.fr  
Site Internet : www.geosoc.fr

**RÉGIE PUBLICITAIRE :**

FFE - 15 rue des Sablons - 75116 PARIS

- **DIRECTEUR DE LA PUBLICITÉ :**  
Patrick SARFATI
- **RESPONSABLE PARTENARIATS PUBLICITAIRES :**  
Bruno ROUSSET - 06 66 44 32 37  
bruno.rousset@ffe.fr
- **ASSISTANTE DE FABRICATION :**  
Aurélie VUILLEMIN - 01 53 36 20 40  
aurelie.vuillemin@ffe.fr

**MISE EN PAGE ET COUVERTURE :**

Jean-Claude MANCHON - ORLÉANS

**IMPRIMÉ EN FRANCE PAR**

CHEVILLON IMPRIMEUR

26, boulevard Kennedy - 89100 SENS

Commission paritaire

CPPAP n°0125G82626

Dépôt légal à parution



Marc Brisebarre<sup>1</sup>,  
Rédacteur en chef  
de "Géologues".

Les géologues savent bien que tous les sols – le terme de « sol » étant pris dans son acception courante de surface de la Terre – sont évolutifs ; l'érosion et la tectonique des plaques font leur œuvre et tous les paysages évoluent. Dans ce numéro, plus modestement, le dossier sera consacré aux sols dont les caractéristiques physico-chimiques sont susceptibles de changer au cours de la vie des ouvrages qu'ils supportent. Le changement climatique est un facteur important de ce changement ; c'est pourquoi la première partie du dossier lui sera dévolue ; il sera abordé sous trois de ses conséquences principales : la modification du littoral, la fonte du permafrost et le retrait-gonflement des sols argileux, avec notamment, pour ce dernier thème, la présentation d'une solution innovante de confortation des maisons individuelles. La seconde partie du dossier sera consacrée à un focus sur quelques ouvrages ; citons, par exemple, l'étude de la rupture du barrage de Malpasset qui mettra en évidence le rôle primordial de la réduction de perméabilité du rocher. Quant aux lecteurs anciens élèves de la « fac de Jussieu », s'ils se sont certainement inquiétés des poussières d'amiante qu'ils avaient pu inhaler, ils ne se sont probablement pas doutés des interrogations qui ont pesé sur la stabilité des fondations du campus, thème qui fera l'objet du dernier article.

Le changement climatique abordé dans le dossier l'est également dans les autres rubriques ; ainsi, les actualités comportent plusieurs articles sur la transition énergétique ainsi que plusieurs articles sur les problèmes littoraux.

Dans ce numéro vous découvrirez également une nouvelle rubrique : l'analyse d'ouvrages. Vous avez donc en main un numéro qui se veut riche et varié.

Bonne lecture !

1. Courriel : redac.geologues@geosoc.fr

Chers lecteurs, chers abonnés,

La Société Géologique de France et le Pôle de Compétitivité AVENIA ont le plaisir d'annoncer leur accord de coédition de la revue "*Géologues*" qui devient effectif à partir de ce numéro de mars 2021.

À l'origine de ce partenariat, il y a la conviction partagée que la diffusion de la connaissance relative aux sciences de la Terre et à leurs différentes applications industrielles constitue un enjeu technique et technologique majeur, bien évidemment économique, mais également sociétal, en particulier dans les contextes de la transition énergétique et d'une défiance croissante du citoyen vis-à-vis des activités relatives à l'exploitation des ressources énergétiques et minérales, ainsi que des grands travaux.

Par le biais de leurs missions respectives, la SGF et AVENIA s'emploient à promouvoir les métiers des géosciences, à impulser l'essor des filières de valorisation du sous-sol dans le respect d'une démarche responsable et à favoriser l'émergence de jeunes entreprises innovantes. La revue "*Géologues*" continuera à contribuer à l'atteinte de ces objectifs. Elle se veut être un vecteur de transmission d'une information objective et impartiale, en complément des différentes manifestations organisées par les deux structures, dont la Réunion des Sciences de la Terre et les Geodays sont les événements phares.

La coédition constitue un levier pour unir nos compétences, associer les complémentarités de nos réseaux afin de mettre en place des synergies et établir une collaboration qui permettra de mieux rendre compte des défis technologiques, des innovations, mais également des menaces et opportunités du secteur au gré des aléas économiques et des controverses socio-techniques. "*Géologues*" participe à l'effort de communication au sein de la communauté des géosciences, mais de nouveaux challenges se profilent comme le défi de l'attractivité de nos métiers auprès des étudiants et la communication vers la société civile. Des actions ciblées par le biais de numéros hors-série thématiques et le développement du numérique en seront des éléments contributeurs.

Cet accord ne modifie pas l'organisation du comité de rédaction de la revue qui demeure pleinement mobilisé pour délivrer des contenus de qualité, au premier chef le dossier thématique qui nous permet de fournir chaque trimestre une vision actualisée d'un sujet géosciences, soit géographique, soit liée à une spécialité ou bien encore avec une portée globale. Les nouvelles rubriques introduites avec le numéro de septembre 2020 continueront d'être proposées et seront bien entendu en écho de l'actualité et du contexte socio-économique. Le pôle de compétitivité AVENIA, dont le domaine d'expertise couvre l'ensemble des grands secteurs d'activité des géosciences, nous apportera son regard, sur la base de son expérience et de celle de ses adhérents, en particulier pour les marchés émergents et en devenir. Le numéro de décembre sera, comme de coutume, réservé à une thématique concernant l'hydrogéologie, proposé par nos correspondants du Comité Français d'Hydrogéologie et de l'Association des Hydrogéologues des Services Publics.

Nous espérons que ce projet vous encouragera à demeurer fidèles à "*Géologues*" et qu'il suscitera l'intérêt de nouveaux lecteurs.

Le pôle AVENIA vient de fêter ses 10 ans d'existence et il vous présente ses actions et la vision qui le porte à l'occasion de cette célébration.

François BAUDIN

Président de la Société Géologique de France

Jean-Loup MINEBOIS

Président du Pôle AVENIA



Crédit photo : SNCF.

Photo de première de couverture :  
Tunnel de l'Encombrouze (ligne de Veynes à Briançon).

## Éditorial

1

## Actualités

7

### CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE : BILAN ET PROJECTIONS ..... 7

Rapport de l'International Energy Agency (IEA) :  
Coal 2020 ; Analysis and forecast to 2025  
(décembre 2020) ..... 7

*François Leparmentier*

« Gas year 2020 review » de Rystad Energy ..... 8

*François Leparmentier*

Rapport du World Energy Council :  
World Energy Trilemma Index 2020 ..... 9

*François Leparmentier*

### TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ..... 10

Rapport de l'UNECE (United Nations Economic  
Commission for Europe) :  
Carbon Capture, Use and Storage (CCUS) ..... 10

*François Leparmentier*

Création d'un laboratoire dédié au stockage  
géologique des gaz décarbonés ..... 12

*François Leparmentier*

L'hypocentre de l'économie hydrogène vert  
en Europe : l'Espagne ? ..... 12

*Marc Blaizot*

4

## AMÉNAGEMENT ET RESSOURCES NATURELLES ..... 13

Atténuation ou adaptation :  
l'exemple du projet MOSE à Venise ..... 13

*Marc Blaizot*

Présentation des résultats du projet national C2ROP  
le 17 mai 2021 ..... 14

*Marc Brisebarre*

Dossier de presse du Comité Interministériel  
de la Mer (CIMer) : Construire ensemble  
l'avenir maritime de la France ..... 15

*François Leparmentier*

Littoraux normands 2027 ..... 16

*Marc Brisebarre*

## EAU ..... 17

Aqua-Valley et le BRGM annoncent le lancement  
du projet européen AQUIFER ..... 17

*François Leparmentier*

L'UNESCO publie son rapport 2021 sur l'eau,  
intitulé « La valeur de l'eau » ..... 18

*François Leparmentier*

## Jeune entreprise 20

Terremys : Une technologie innovante sur le marché  
de la géophysique aéroportée par drones ..... 20

*François Leparmentier, avec Tristan Freville*

## Décryptage 23

Des métaux essentiels pour la société du risque  
sanitaire ? ..... 23

*Michel Jébrak, Yann Gunzburger et Jack-Pierre Piguet*

Les majors pétrolières,  
d'avril noir à un monde post-COVID ..... 25

*François Leparmentier*

## Enseignement/ Recherche 28

Le projet Geo3EN, une formation entièrement  
consacrée à la géothermie ..... 28

*François Leparmentier*

## Analyses d'ouvrages 29

**Sur les pas d'un géologue face aux défis du développement par le Dr Fodé Ibrahima Diaby**  
Ed. L'Harmattan - ISBN 2343199302 - 178 p. .... 29

Jean-Jacques Jarrige

**Chercheurs d'Or. L'orpaillage clandestin en Guyane française par François-Michel Le Tourneau**  
CNRS éditions. 2020, 421 pages ..... 30

Michel Jébrak

**Observatoire de la sécurité des flux et des matières énergétiques (OSFME) ; L'Alliance Européenne des Batteries ; Enjeux et perspectives européennes. Rapport 6, décembre 2020** ..... 32

Michel Jébrak

## Dossier 35

### Les ouvrages sur sols évolutifs

**L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE** ..... 35

**Protection de la Langue de Barbarie (Sénégal)** ..... 35

Marc Brisebarre

*La Langue de Barbarie est une flèche littorale sableuse qui protège de l'érosion marine la ville de Saint-Louis (Sénégal). Elle est traversée par des brèches d'origine naturelle mais également par une brèche d'origine anthropique large de 7 km qui était à l'origine, en 2003, un petit canal de délestage et qui est devenu l'embouchure du fleuve Sénégal. Des travaux d'aménagement de cette brèche ainsi que des travaux de protection d'urgence des quartiers de Saint-Louis situés sur la Langue sont en cours.*

**Évolution récente de la stabilité des infrastructures construites sur le permafrost dans les Alpes françaises** ..... 39

Pierre-Allain Duveillard, Ludovic Ravel

*De nombreuses infrastructures (remontées mécaniques, refuges, etc.) sont construites sur des terrains gelés en permanence (permafrost) en haute montagne. Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, leur maintenance représente un défi technique du fait de mouvements des terrains-supports. En effet, les fondations peuvent être déstabilisées par les changements de la teneur en eau et par le dégel de la glace interstitielle. Au cours des 30 dernières années, plus d'une vingtaine d'infrastructures ont ainsi connu des dommages dans les Alpes françaises.*

**Les ouvrages sur les sols argileux sensibles au retrait-gonflement** ..... 42

Marc Brisebarre

*Près de la moitié du territoire métropolitain est classée en zone d'exposition moyenne ou forte au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux ; ceci explique le nombre déjà important de sinistres liés à ce phénomène ; cette sinistralité ne pourra que s'amplifier puisque les projections climatiques indiquent que le nombre et l'intensité des épisodes de sécheresse croîtra. Peut-être cela entraînera-t-il une remise en cause de la notion de catastrophe naturelle.*

**MACH, une nouvelle solution de remédiation économique et écologique pour conforter les maisons individuelles exposées aux sécheresses** ..... 49

Lamine Ighil Ameur

*En France, plus de 4 millions de maisons individuelles existantes sont très vulnérables face aux sécheresses. Le développement de nouvelles solutions de remédiation, écologiques, économiques et durables est l'une des urgences pour s'orienter vers une résilience climatique du bâti existant. Pour y contribuer, le Cerema a élaboré et a expérimenté à l'échelle 1 et pendant 4 années la solution MACH basée sur la réhumidification du sol de fondation par la valorisation des eaux de pluie.*

**EXEMPLES D'OUVRAGES** ..... 53

**Compréhension actuelle de la catastrophe du barrage de Malpasset** ..... 53

Gilbert Castanier, Jean-Marie Masset, Jean-Jacques Biteau, Clément Biou, Charline Coudun

*Le 2 décembre 1959 la rupture soudaine et brutale du barrage-voûte de Malpasset faisait 423 victimes dans la ville de Fréjus et dans ses alentours. Cette catastrophe a mis en évidence la nécessité de réaliser des études géologiques et géotechniques préalables rigoureuses et de prendre en compte le phénomène de réduction de la perméabilité par le poinçonnement du rocher dû à l'effet de « console ». Un parcours de mémoire sur le site de la catastrophe a été réalisé par les élèves-ingénieurs de l'ENSG.*

**Des ouvrages de génie végétal pour protéger les talus marneux de l'autoroute Fès-Taza (Maroc) contre l'érosion hydrique** ..... 60

Aicha Mouisat, Chaouki Al Faiz, Ahmed Douaik, Chérif Harrouni, Abdelkrim Derradji, Nour-Eddine Benaoda Tlemçani

*Par sa situation particulière dans une zone montagnarde dominée par des substrats marneux particulièrement sensibles à l'érosion hydrique et sous des conditions météorologiques et hydrologiques sévères, l'autoroute Fès-Taza (Maroc) a subi différentes formes d'érosion depuis sa première année de mise en service. Afin de lutter contre ces différentes formes d'érosion, des ouvrages à base du génie végétal ont fait l'objet d'un suivi expérimental sur quelques*

*talus longeant ce tronçon. Les traitements qui ont donné les meilleurs résultats sont ceux à base de la végétation combinée à du roseau étalé sur talus ou à un paillage de paille fixée avec grillage métallique.*

### **Tunnels ferroviaires dans un contexte de glissement de versant : exemple du tunnel de La Bégude ..... 66**

*Christian Carboni, Myriam Mili, Christine Thuaud*

*Le tunnel ferroviaire de La Bégude, situé sur la commune de Chamborigaud dans le Gard, se trouve au sud-est du Massif central, dans une zone géologiquement active. Il traverse dans sa première partie un ensemble constitué de formations de micaschistes présentant des plans de glissement bancs sur bancs. Ces glissements entraînent des bancs rocheux qui viennent appuyer sur le côté droit de la structure. Cet article décrit tout d'abord l'expertise qui a été menée pour établir le diagnostic de l'ouvrage, puis la conception des travaux de confortement les plus adaptés à un contexte géologique particulier et également au cas de l'une des lignes ferroviaires de dessertes fines du territoire national. Enfin, la réalisation des travaux sera présentée.*

### **La rénovation du pont de Noirmoutier ..... 80**

*Nicolas Rouland*

*Le pont de Noirmoutier, qui relie l'île du même nom au continent, et qui a été mis en service en 1971, a fait l'objet d'une importante restauration entre 2017 et 2020 ; on traitera ici des travaux effectués sur la tête des fondations et sur la partie inférieure des piles soumise au marnage ; dans cette zone a été mis en œuvre pour la première fois en France sur un pont un procédé de Jackets en fibre de verre.*

### **Le campus de Jussieu ..... 82**

*Marc Brisebarre*

*Le campus universitaire de Jussieu (Paris V<sup>ème</sup>) a fait l'objet de travaux de désamiantage mais également d'une réhabilitation lourde entre 2003 et 2016 ; à l'occasion de cette réhabilitation, les investigations conduites en 2010-2011 sur les fondations d'une partie des bâtiments ont conduit à des interrogations sur la stabilité du sol d'assise.*