RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

Géosciences pour une Terre durable

brgm

Service géologique national
Rapport d'activité 2021

Service géologique national, le BRGM est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol dans une perspective de développement durable. Partenaire de nombreux acteurs publics et privés, son action est orientée vers la recherche scientifique, l'appui aux politiques publiques et la coopération internationale.

Source de « la Roche qui pleure » au pied de la falaise de Grainval à Saint-Léonard (76). Les falaises de l'arrière-plan sont composées de craie à silex du Sénonien inférieur. En traversant les sols, l'eau de pluie se charge en gaz carbonique, ce qui lui permet de dissoudre la craie. Lorsque l'eau arrive à l'air libre, elle se réchauffe et rejette le CO_2 ce qui donne des tufs calcaires sur des mousses, champignons microscopiques et cyanobactéries. Le vivant est ainsi à l'origine de ces phénomènes de dissolution et de précipitation.

© Getty Images

Service géologique national
Rapport d'activité 2021

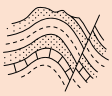
STRATÉGIE

Message de la Présidente — 02

Temps forts 2021 — 04

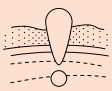
Éclairages — 08

ENJEUX



Géologie et connaissance du sous-sol — 12

Gestion des eaux souterraines — 20



Risques et aménagement du territoire — 28

Ressources minérales et économie circulaire — 40

Transition énergétique et espace souterrain — 48

Données, services et infrastructures numériques — 56

ÉTABLISSEMENT

Responsabilité sociétale de l'entreprise — 64

Gouvernance — 68

Comptes 2021 — 74

Groupe BRGM — 78

Retrouvez
la **version digitale augmentée**
du rapport d'activité sur
notre site internet

www.brgm.fr

Comme tous les acteurs économiques, le BRGM aura appris à vivre avec le virus. Nous avons réussi à anticiper régulièrement les mesures sanitaires gouvernementales et à améliorer encore les moyens informatiques mis à disposition des salariés. La vigilance reste bien sûr de rigueur.

En interne à l'établissement, nous avons continué à adapter notre organisation en créant la direction du Numérique pour les géosciences, en confiant au Secrétariat général l'informatique fonctionnelle et en ajustant la gouvernance de la direction Financière. Nous avons eu ainsi la double satisfaction de parvenir à une prévision correcte de notre atterrissage 2021 et d'engranger des bénéfices significatifs. Ces bénéfices, joints à la vente d'actions que nous détenions, nous ont permis de donner le feu vert à la reconstruction des laboratoires du BRGM qui datent du début des années soixante.

Nos clients, qu'ils soient publics ou privés, ont également trouvé un équilibre compatible avec la pandémie : nos commandes se sont donc nettement redressées et font de 2021 la meilleure année de notre actuel Contrat d'objectifs et de performance (COP), même si l'international reste encore touché mais de façon plus modérée que l'an dernier.

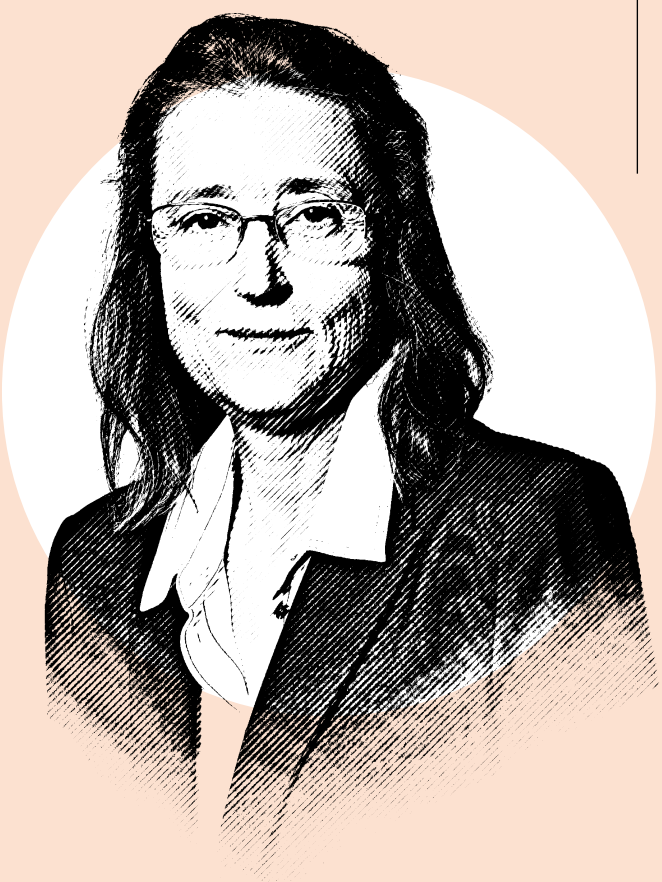
Au plan scientifique, l'établissement a saisi l'opportunité des appels à programmes exploratoires pour la recherche (PEPR) lancés par l'ANR pour renforcer sensiblement ses relations avec le monde académique. À l'issue d'un processus extrêmement sélectif, il a déjà été retenu pour copiloter, avec le CNRS-INSU et l'INRAE, le PEPR Eau « One Water ». Des décisions sont en attente pour deux autres PEPR : l'un « Sous-sol bien commun » sur les usages du sous-sol et les conflits associés et l'autre « IRIMA » sur les risques naturels et industriels.

Enfin, le BRGM s'est mobilisé sur la sécurisation des approvisionnements de la France en métaux stratégiques en contribuant activement à la rédaction d'un rapport remis au Gouvernement sur ce sujet à la toute fin de l'année. Ce rapport a déjà donné lieu à des décisions de principe positives qui se concrétiseront, nous l'espérons, en 2022. Le contexte est porteur grâce à un regain d'intérêt pour les questions de réindustrialisation européenne et de souveraineté nationale.

2022 sera pour le BRGM l'année de la négociation de son prochain COP 2023-2027. L'établissement a commencé à s'y préparer activement en se projetant dans l'avenir avec beaucoup de détermination. ■

Michèle Rousseau
Présidente - Directrice générale

« L'année 2021 a permis au BRGM de résister au Coronavirus, de parfaire son organisation, de gagner en solidité financière et de renforcer sa présence scientifique auprès de ses partenaires et clients. »



Cascade de source karstique dans les gorges de Kakuetta, Pyrénées-Atlantiques.
© Philippe Crochet

Temps forts 2021

26 mars 2021

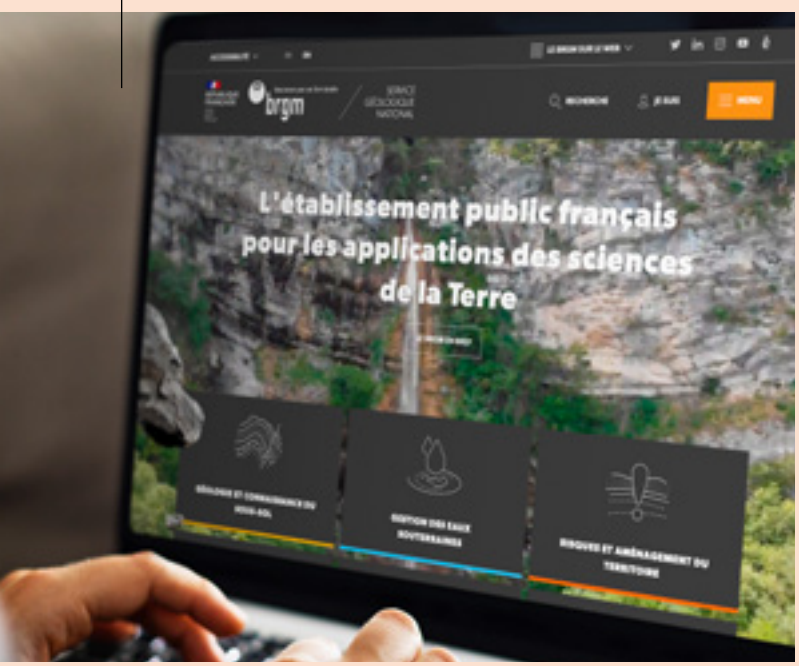
Un nouvel événement sur les avancées scientifiques

Les équipes du BRGM reviennent sur les avancées scientifiques marquantes du service géologique national. Au programme, 8 sujets abordés dans le cadre de nos 6 enjeux scientifiques : géologie et connaissance du sous-sol, gestion des eaux souterraines, risques et aménagement du territoire, ressources minérales et économie circulaire, transition énergétique et espace souterrain, services, données et infrastructures numériques.

15 janvier 2021

Le nouveau site internet du BRGM primé aux Grands Prix Top Com Corporate !

Contenus et graphisme repensés, nouveaux parcours utilisateurs : le nouveau site web du BRGM a été primé lors des Grand Prix Top Com Corporate. Ce site est en effet entièrement refondu pour mieux répondre aux besoins de ses publics. Partenaires publics et collectivités, entreprises, chercheurs, étudiants, enseignants et élèves, journalistes, associations et citoyens : le site web du BRGM s'adresse à un large éventail de publics. Plus de 1000 pages sont proposées en français et en anglais : de nos enjeux scientifiques à notre offre de services, de nos données à nos références et projets, en passant par de multiples sujets vulgarisés pour découvrir les sciences de la Terre, et bien sûr toute notre actualité.



21 juin 2021

Valorisation des terres excavées : le BRGM signe un accord avec Materrup

Le BRGM a conclu le 21 juin 2021 un partenariat avec la société Materrup, spécialiste des matériaux de construction innovants. Objectif : créer une filière de valorisation des terres excavées.

12 juillet 2021

Le BRGM obtient la labellisation européenne HRS4R

Le BRGM a obtenu le label européen HRS4R "Human Resource Excellence in Research", qui vise à garantir l'application des meilleures pratiques de recrutement et conditions de travail des chercheurs. Depuis le 21 juin 2021, le BRGM est le premier établissement public industriel et commercial (EPIC) français labellisé HRS4R. C'est l'opportunité pour l'établissement de poursuivre et consolider sa politique volontariste en faveur de ses personnels scientifiques. Les mesures mises en œuvre bénéficieront plus globalement à l'ensemble du personnel du BRGM en participant à l'amélioration des conditions de travail d'une manière générale.

22 juillet 2021

Visite de Guillaume Boudy, secrétaire général pour l'Investissement

Dans le cadre d'un comité de pilotage du Programme des investissements d'avenir (PIA) en région Centre-Val de Loire se déroulant à Orléans, le BRGM a reçu la visite officielle de Guillaume Boudy, secrétaire général pour l'Investissement (SGPI). La visite s'est organisée autour de la présentation du BRGM, de sa stratégie et d'exemples de projets réalisés dans les programmes investissements d'avenir (PIA) 1, 2 et 3. Puis elle s'est poursuivie par la découverte des plateformes Plat'Inn et PRIME.

31 août 2021

Le BRGM et KERAN signent un accord-cadre de partenariat scientifique et industriel

Afin de renforcer et de pérenniser sur le long terme la coopération entre les deux établissements, les dirigeants du BRGM et du groupe KERAN ont signé un accord-cadre d'une durée de 3 ans. Forts de leurs activités jugées complémentaires, le BRGM, service géologique national, et KERAN, spécialisé dans l'aménagement et l'environnement, ont identifié quatre thématiques d'intervention commune potentielle : les sols, les eaux souterraines, les risques naturels en particulier sur le littoral, et l'après-mine.

17 septembre 2021

Frédérique Vidal, ministre de la Recherche, en visite au BRGM à Orléans

Le BRGM et sa filiale IRIS Instruments ont accueilli Frédérique Vidal, ministre de la Recherche, de l'Enseignement Supérieur et de l'Innovation, à Orléans. Cette visite a permis de présenter le rôle central joué par le BRGM pour les Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) déposés dans le cadre du plan de relance et d'échanger avec la ministre sur les solutions développées par le BRGM en réponse aux enjeux du sous-sol face à la transition écologique, à la transition énergétique et au changement climatique. La visite s'est poursuivie dans les locaux d'IRIS Instruments, où a été présentée l'aide apportée par le plan de relance pour le développement avec le CEA/IRFU du télescope pour l'imagerie par tomographie muonique. Interviewée, la ministre a déclaré que *« le BRGM et IRIS Instruments illustraient bien la force de la recherche française »*.

23 septembre 2021

Investissements d'avenir : OneWater, PEPR exploratoire codirigé par le BRGM

Parmi les 4 programmes et équipements prioritaires de recherche exploratoires sélectionnés sur proposition du jury international, le programme OneWater, copiloté par le BRGM avec le CNRS et INRAE, a été retenu par l'État, avec une demande d'aide initiale de 53 M€. Outre les trois organismes pilotes (CNRS, BRGM et INRAE), le programme "OneWater - Eau Bien Commun" s'appuie également sur plusieurs partenaires : Ifremer IRD, Météo-France, Université de Bordeaux, Université de Lyon 1, Université de Montpellier (I-Site MUSE), Université de Grenoble-Alpes, Université de Rennes 1, Université de Strasbourg, Université de Toulouse Midi-Pyrénées.

9 & 10 octobre 2021

Fête de la science 2021 au BRGM à Orléans : record de fréquentation battu

Pour les 30 ans de la Fête de la science, le BRGM ouvrait les portes de son centre scientifique et technique d'Orléans au grand public. Plus de 7 000 visiteurs se sont déplacés. Le thème de cette année était "l'émotion de la découverte". Au fil du parcours de visite et d'animations scientifiques, étaient présentées les activités et les équipements du service géologique national et celles d'une trentaine d'autres établissements, laboratoires et associations scientifiques du Loiret dans le cadre du Village des sciences. Le Vélotour est aussi passé avec un parcours de visite dédié. Les chercheurs du BRGM ont par ailleurs participé à plusieurs émissions de « Science en direct ».

12 au 15 octobre 2021

Pollutec 2021 : le BRGM au cœur des enjeux environnementaux

Plus grand service géologique d'Europe, le BRGM a participé à 15 conférences et tables rondes lors du salon Pollutec. Près de 40 chercheurs ont apporté leur expertise sur les enjeux environnementaux liés au sous-sol (aménagement du territoire, rôle du sous-sol dans les problématiques énergétiques, mer et littoral, gestion de l'eau souterraine, agriculture et climat).

20 au 22 octobre 2021

Congrès de la Société de l'industrie minérale (SIM)

Salon référent du secteur des industries extractives en France, il met en avant les équipements et savoir-faire des fournisseurs de produits et services du secteur. Le BRGM a présenté son expertise dans le domaine des ressources minérales et de l'économie circulaire.

1er au 5 novembre 2021

27e réunion des sciences de la Terre (RST)

Le BRGM était présent à Lyon à la 27e édition de la RST. Ce congrès national couvre l'ensemble des géosciences. Événement bisannuel, la RST rassemble les acteurs du monde industriel, de l'enseignement et de la recherche. Le BRGM a participé à plusieurs sessions. Les dernières nouveautés des éditions BRGM ont été présentées et notamment les nouvelles cartes pédagogiques de Lyon et de Paris et les derniers guides de la collection des Curiosités géologiques.

20 décembre 2021

BRGM formation : 97 % des stagiaires satisfaits

Au plus près des besoins des entreprises, des bureaux d'études, des administrations, des collectivités… BRGM Formation, certifié Qualiopi, assure le développement de compétences scientifiques et techniques par des actions de formation "catalogue" et "sur mesure" en présentiel et en distanciel.

INNOVATION

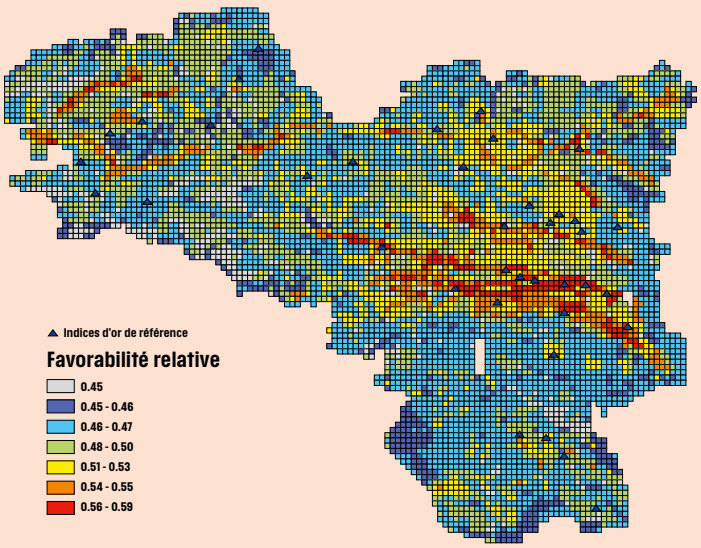
Innovation au BRGM : une démarche nouvelle d'acculturation

Montée en puissance des pratiques d'évaluation, travaux orientés applications, accent mis sur les résultats… Le BRGM conduit désormais ses programmes et le travail des chercheurs et ingénieurs clairement et explicitement vers l'accroissement de l'impact des projets en réponse directe aux besoins concrets des acteurs économiques. 2021 a marqué la mise en place d'un accompagnement des programmes de recherche sur leur potentiel d'application.

Dominique Morin
Responsable Innovation

La recherche appliquée dans les géosciences est une des missions primordiales du BRGM. Une véritable prise de conscience et un effort dans l'orientation de la R&D doivent être faits, tant à l'échelle macroscopique sur l'ensemble de l'établissement qu'au niveau individuel par les chercheurs et ingénieurs afin d'être tous ensemble investis dans une prise en compte renforcée de l'innovation en tant qu'objectif incontournable. Il s'agit d'être sensible à cette dimension dès l'amont des travaux de recherche, et de convaincre les bailleurs de fonds de notre maîtrise de l'applicabilité des résultats de nos travaux.

Exemple de résultat cartographique de favorabilité d'or en Bretagne obtenu grâce à l'outil DROP, primé par le prix de l'innovation BRGM.
© BRGM



Prix de l'innovation du BRGM

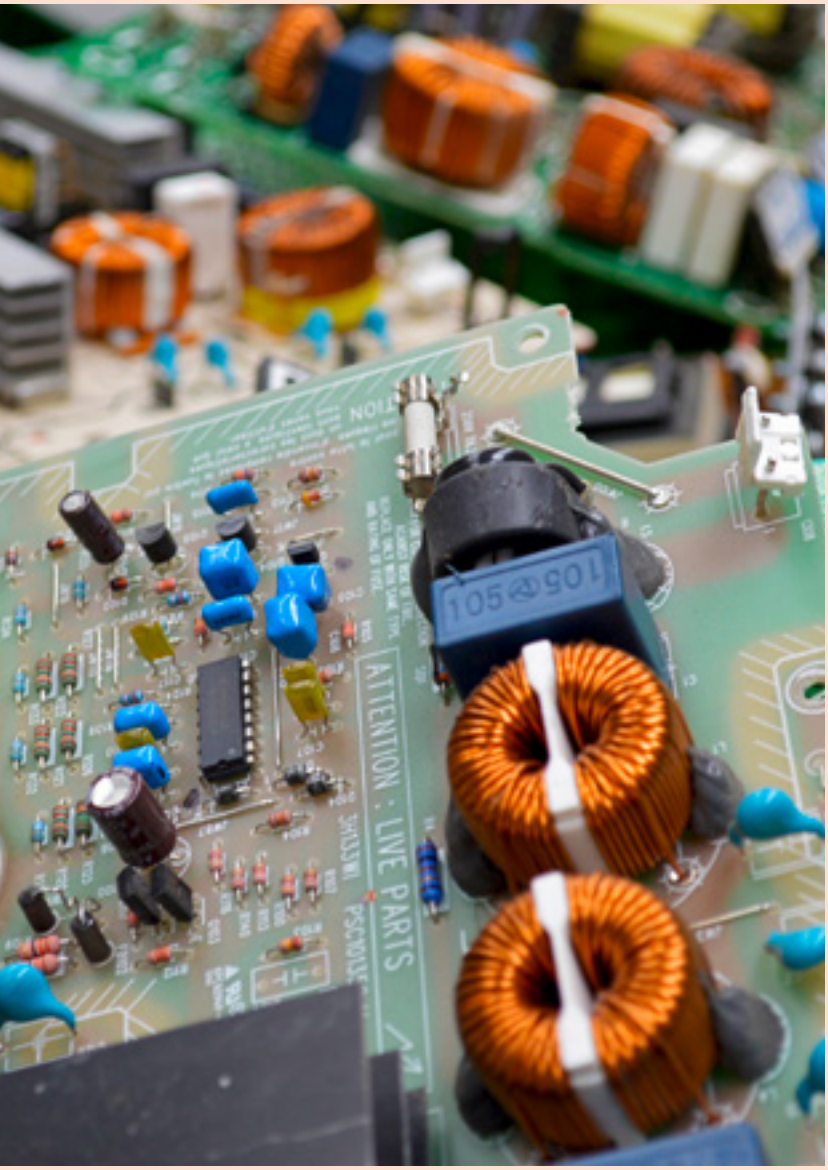
Il a été attribué cette année à une méthode originale d'optimisation de la construction cartographique alliée à de l'intelligence artificielle, le projet DROP, qui donne des cartes très opérationnelles pour identifier des gisements de ressources minérales. L'IA améliore l'analyse des données de surfaces et de structures, et permet de mieux caractériser la localisation et la caractérisation de substances. On va ainsi identifier les sources de substances plus facilement et à moindre coût, mais aussi les sources de pollution et le périmètre de nappes phréatiques.

Projets innovants soutenus par l'Europe

Le BRGM est membre de l'EIT Raw Materials, un groupement européen d'accompagnement de l'innovation pour la sécurisation des approvisionnements en matières premières et l'usage raisonné des matériaux. Au menu : économie circulaire, analyses sur le terrain des constituants du sol et du sous-sol (SOLSA), participation citoyenne et amélioration de la transmission des connaissances (Citizen Coop).

Développement de plateformes d'accès aux données

Citons aussi le développement de plateformes d'accès aux données dans les domaines du risque (Vigirisks) et de l'eau ; et des projets en géophysique, sur les argiles gonflantes ou l'injection dans le sous-sol du CO_2 produit, et le développement de nouvelles méthodes de récupération de l'énergie (POWERROAD).



Les déchets électroniques et électriques : un gisement de ressources minérales stratégiques.
© BRGM

« Une nécessaire remise en question des chercheurs dans leurs capacités à utiliser des méthodes de validation des applications de leurs travaux. »

C'est particulièrement vrai concernant la valorisation de l'exploitation du sous-sol, dans un contexte de tension grandissante sur la disponibilité des ressources en matières premières, en particulier celle des métaux rares. Il faut convaincre les acteurs économiques de la faisabilité de nos solutions et de nos capacités à les mettre en œuvre.

Raisonner en termes de solutions techniquement et économiquement viables

Concrètement, il s'agit d'accompagner les programmes de recherche sur leurs potentiels d'application. Déjà instillée dans les esprits et les méthodes, cette préoccupation s'est nettement accélérée en 2021. Les équipes du BRGM doivent raisonner en termes de solutions techniquement et économiquement viables. Un effort de changement méthodologique doit être opéré, avec une nécessaire appropriation de la part des équipes de méthodologies de validation des applications de leurs travaux.

Cela se traduit principalement par une montée en puissance des pratiques d'évaluation des applications et des résultats à tous les stades des projets.

Les chercheurs formés à l'évaluation

Le soutien du BRGM est très fort dans ces nouvelles pratiques de l'évaluation. Cette démarche a été cette année alimentée et enrichie par la formation de quarante chercheurs et ingénieurs. Cela a été pour eux une opportunité d'acquérir une compétence très valorisante.

Précisément, la montée en compétence sur les pratiques de l'innovation passe par des formations de sensibilisation à la démarche d'innovation, avec le groupe RIST *(Research Innovation Science & Technology)* adossé à l'Université Paris Dauphine-PSL. Mais aussi par l'acquisition de méthodes créatives collectives, avec le cabinet de conseil en innovation Edwige, et le développement de méthodologies créatives dans un esprit d'open innovation.

En résumé, le BRGM mène une profonde campagne d'acculturation à l'innovation, en phase avec les défis liés à l'environnement, au changement climatique, à l'exploitation raisonnée des ressources du sous-sol… Cela nous permet d'être légitimement investis dans des projets innovants soutenus par l'Europe, comme ceux de l'EIT Raw Materials, qui sollicite fortement le BRGM pour impulser de l'innovation dans la valorisation responsable des ressources minérales primaires et secondaires.

En illustration de cette démarche (voir l'encadré), citons aussi le prix de l'innovation du BRGM, de nombreux projets en géophysique, en économie circulaire ou sur les risques… ■

SCIENCE AVEC ET POUR LA SOCIÉTÉ

Un BRGM plus ouvert sur la société

Dans le prolongement de ses missions de recherche et d'expertise, le BRGM développe de plus en plus une science ouverte sur la société. La science permet de dresser le champ des possibles selon les connaissances disponibles et les recherches en cours. Avec son éclairage, le débat démocratique peut pleinement s'établir.

Philippe Freyssinet
Directeur de la Recherche, de la Programmation scientifique et de la Communication

Médiatiser et communiquer la science est devenu un enjeu majeur pour un établissement comme le BRGM qui est positionné sur des enjeux sociétaux comme la transition écologique et le changement climatique.

La science du BRGM doit être ouverte autant que possible et accessible à différents types de publics. La politique de médiation scientifique poursuit à la fois un objectif de communication à destination du grand public et également du public scolaire. Toutes ces actions et bien d'autres nous permettent chaque année de toucher plus de 800 000 personnes.

Chaque année, de nombreux articles vulgarisés sont écrits par les scientifiques de l'établissement sur des sujets d'actualité et publiés sur le site The Conversation pour une audience élargie. La revue *Géosciences*, publiée deux fois par an, permet de décrypter pour un public averti mais non spécialiste, les enjeux relatifs au sol et au sous-sol.

Notre nouveau site web propose par ailleurs un parcours dédié en constante évolution : « Comprendre les sciences de la Terre » pour répondre aux questions du grand public avec des clés d'explication claires et les différentes ressources disponibles (vidéos, podcasts, animations, infographies, etc.).

Pour les publics scolaires, nous développons l'espace BRGM de l'Éduthèque nationale en proposant des contenus nouveaux pour les enseignants et les élèves. Nous accueillons aussi régulièrement les scolaires et soutenons les Olympiades des géosciences organisées annuellement. Cette dynamique d'ouverture de la science vers la société poursuit deux grands objectifs :

- donner aux plus jeunes goût et intérêt pour les sciences et susciter des vocations scientifiques ;
- proposer aux adultes le décryptage des grands enjeux des géosciences et instaurer ainsi une relation de confiance.

Notre ambition est d'ouvrir de nouveaux espaces d'échanges et de développer les interactions. Nous pensons que la médiation scientifique doit aller du partage d'une culture scientifique commune jusqu'à l'appui des chercheurs à la décision publique en passant par les différents degrés des sciences participatives ou ceux de la science ouverte. ■

Explication du phénomène des cavités souterraines lors de la Fête de la science avec Fred Courant de L'Esprit Sorcier.
© BRGM - P. Vassal

3 questions à

Fred Courant

Journaliste scientifique, fondateur de L'Esprit Sorcier, animateur du *Rapport sur la culture du risque* du ministère de la Transition écologique

« C'est un rôle de service public que de faire de la médiation, de développer la curiosité. »

« Il faut sensibiliser le grand public aux risques naturels et technologiques, explique l'ancien rédacteur en chef et présentateur de l'émission C'est pas sorcier. *La médiation scientifique est une des missions que doit renforcer le BRGM. »*

— Quelle principale conclusion tirez-vous du récent rapport pour le ministère de la Transition écologique ?

FRED COURANT — J'ai pu animer le *rapport sur la culture du risque* avec de nombreux experts, à la demande de Barbara Pompili, ministre de la Transition écologique. Nos travaux pointent une culture du risque insuffisante en France. Et le dérèglement climatique ne va faire qu'intensifier les catastrophes et les risques naturels, technologiques et industriels. L'enjeu est donc de sensibiliser le grand public.

— Quel rôle peut jouer un organisme comme le BRGM dans cette sensibilisation ?

F.C. — La science est présente partout. Les questions scientifiques sont au cœur de notre vie : santé, changement climatique et environnement, 5G, etc. Il est indispensable pour le citoyen d'être bien informé, notamment pour décider dans le cadre démocratique qui est le nôtre.

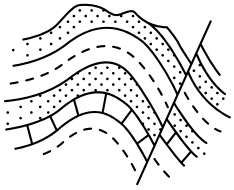
Dès lors, pour toute organisation de recherche, il est important de communiquer et de faire connaître le savoir, les métiers… C'est même un rôle de service public que de faire de la médiation, de développer la curiosité.

Or le BRGM intervient dans de nombreux domaines qui nous touchent directement : le littoral, l'eau, la perturbation des sols ou le changement climatique. L'organisme, comme de nombreux autres, est déjà impliqué dans une démarche de médiation. Depuis 2016 par exemple, le BRGM est partie prenante de la Fête de la science, et avec L'Esprit Sorcier nous montons ensemble des événements, nous créons des vidéos…

Il faut aller plus loin, et la médiation doit selon moi être au cœur des actions du BRGM. Par exemple, le rapport préconise de faire du site Géorisques l'outil de référence sur les risques en France, à l'adresse de tous (lire *GéoRisques, la plateforme de référence tous publics pour promouvoir la culture de résilience* page 60). En améliorant l'ergonomie, en faisant plus de vulgarisation ou en proposant de la 3D, l'idée serait de créer un véritable réflexe sur « où l'on vit » !

— Plus largement, n'y a-t-il pas un enjeu sur la qualité de l'information ?

F.C. — Avec le digital et notamment l'explosion des réseaux sociaux, il y a un vrai sujet sur le transfert de l'information. Comment lutter contre les *fake news* ? Deux façons : replacer les médias dans leur rôle de « vérificateurs » (c'est le fameux *fact checking*), et permettre à ceux qui ont la connaissance certifiée de la diffuser, directement. Cela relève aussi de la médiation. ■



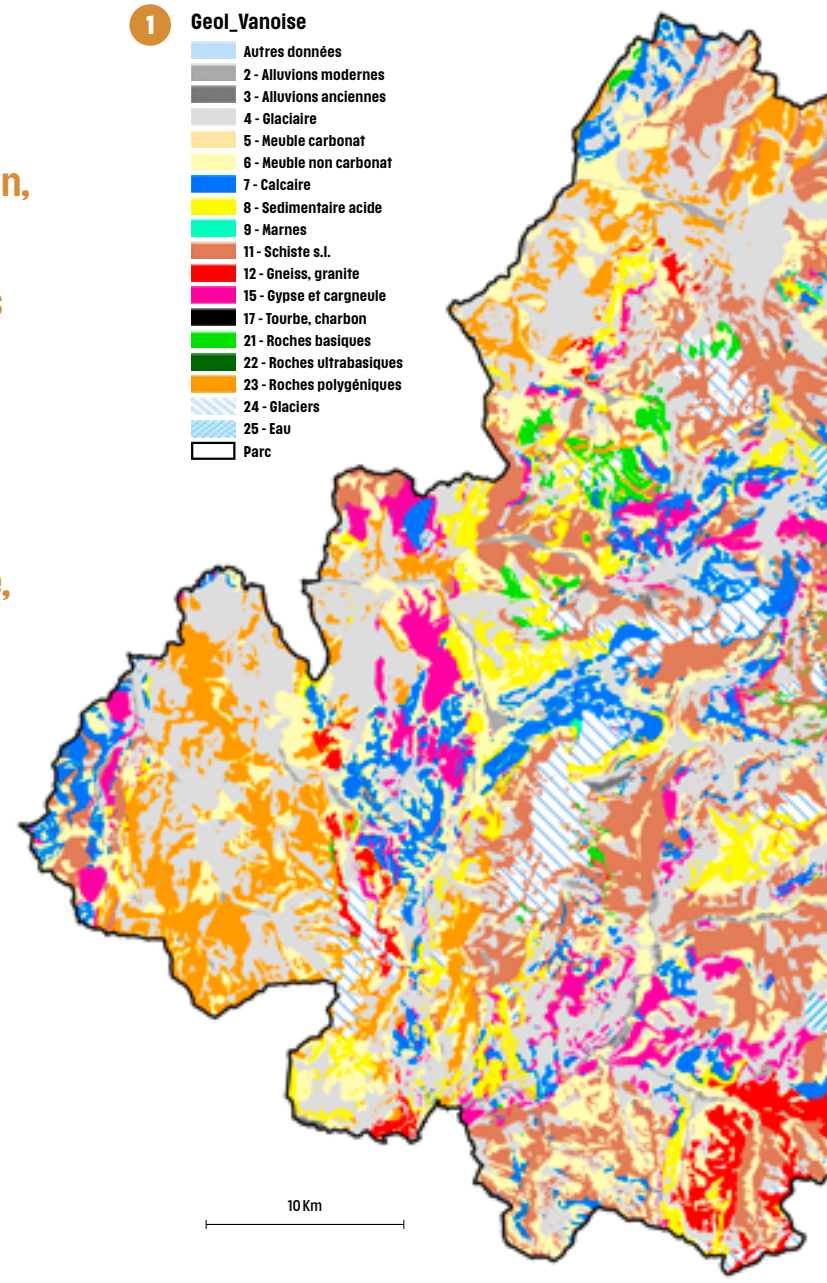
GÉOLOGIE ET CONNAISSANCE DU SOUS-SOL

Développer la connaissance géologique pour optimiser les divers usages du sous-sol

Route de Cilaos dominée par le Gros Morne de Gueule Rouge, La Réunion.
© BRGM - S. Bès de Berc

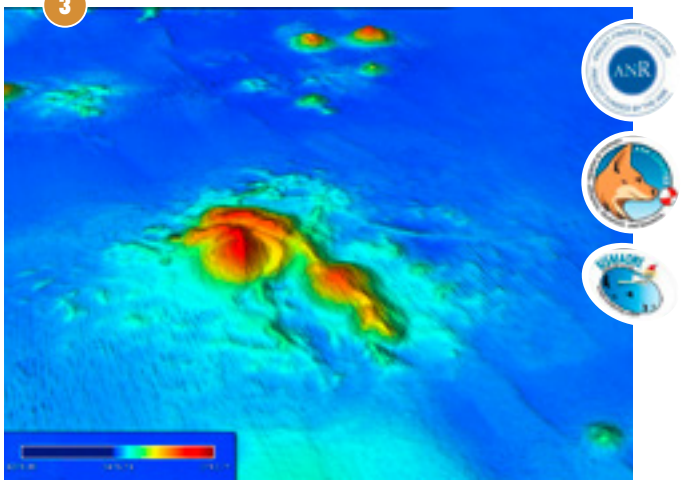
Le BRGM produit et diffuse, à différentes échelles, une information de référence sur l'espace souterrain. Mobilisant les dernières avancées scientifiques et technologiques en matière d'investigation, de compréhension et de représentation du sous-sol, il s'emploie à acquérir en permanence de nouvelles connaissances et à améliorer la compréhension des phénomènes géologiques. Toujours plus complète, plus précise, plus certaine et plus pertinente, cette information est directement exploitable pour développer, de façon durable, les usages du sol et du sous-sol. À l'échelle régionale, en particulier en Afrique, le BRGM apporte en matière de cartographie géologique un appui stratégique aux politiques gouvernementales de gestion des ressources minérales et hydrauliques notamment.

1



2

3



1 — Liens géodiversité-biodiversité : traduction des formations géologiques en lithologie puis en codes compatibles avec les données écologiques, pour la prédiction des biotopes.
© BRGM

2 — Campagne Aérovergne de géophysique héliportée en Auvergne. Ce projet consiste à réaliser une couverture mettant en œuvre trois méthodes de géophysique pour tenter de percer les mystères du sous-sol de cette région.
© BRGM - A. Raingeard

3 — Édifice volcanique sur le fond marin de la plaine abyssale du bassin ouest Somalie (au nord de Mayotte, canal du Mozambique). Extrait de la carte bathymétrique SISMAORE.
© BRGM

Nouveau : des cartes pédagogiques du sous-sol

Afin de faciliter la compréhension au plus grand nombre de l'espace souterrain, le BRGM a développé un nouveau concept de carte qui permet, grâce à une légende innovante, de bien saisir la nature des roches et l'enchaînement chronologique des principaux événements qu'elles ont subies. Les premières réalisations couvrent les villes de Paris et Lyon mais aussi Sancerre/Pouilly-sur-Loire. Sur ce secteur, la carte fait apparaître les relations subtiles entre les terroirs, les vignobles et le sous-sol.

Carhab métropole : la cartographie en appui aux enjeux de la biodiversité

Photo 1 / Élaborer une cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels : c'est l'objectif du projet Carhab lancé par le ministère de la Transition écologique. Le BRGM intervient pour établir des cartes de distribution potentielle des végétations et des habitats naturels au 1/50 000 à partir de la nature (chimique) des roches, en amont de l'étape de modélisation, restituée au 1/25 000. Cette cartographie prédictive constitue une véritable aide à la décision en matière d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement. Après la métropole, finalisée en 2021, le BRGM travaillera sur les Outre-mer et la frange littorale de la Guyane en 2022 et 2023.

Déclaration unifiée pour les ouvrages souterrains (Duplos) : un nouveau service en ligne

Rendue obligatoire par le Code minier, la déclaration de tout forage non géothermique de plus de 10 mètres de profondeur peut désormais être effectuée sur le portail Duplos (duplos.brgm.fr). Notifiée aux services de l'État, en premier lieu la Dreal, elle génère un code BSS, identifiant unique de chaque ouvrage, et alimente la Banque de données du sous-sol (BSS). Le foreur peut également transmettre son rapport de fin de forage *via* Duplos ou utiliser l'application de description technique des forages, DiaLog, interopérable avec le portail. Ce téléservice a été activé en 2021 dans huit régions métropolitaines, avant son déploiement sur tout le territoire en 2022. À la fin 2021, plus de 300 comptes ont déjà été créés et 900 déclarations déposées.

AÉROVERGNE : une campagne de géophysique héliportée concluante

Photo 2 / Une zone de 215 km² au nord de la chaîne des Puys en Auvergne a servi de terrain pour tester en simultané, pour la première fois en France métropolitaine, trois méthodes d'acquisition de données géophysiques héliportées (magnétisme, électromagnétisme, gamma-spectrométrie) dans le contexte géologique particulier de socle sous couverture volcanique. Les résultats du projet Aérovergne, financé par le Feder Auvergne et le BRGM, démontrent l'intérêt de ces investigations pour améliorer la connaissance du sous-sol de ce territoire. Ce sujet fait l'objet d'une thèse depuis fin 2021, financée par le BRGM, Clermont Auvergne Métropole et la Société des Eaux de Volvic.

La campagne océanographique SISMAORE dévoile les fonds marins du nord du canal du Mozambique

Photo 3 / La campagne SISMAORE (https://doi.org/10.17600/18001331) pilotée par le BRGM a permis d'acquérir de nouvelles données géophysiques et géologiques autour de l'archipel volcanique des Comores. Cette investigation a dévoilé l'existence de deux grands champs tecto-volcaniques récents, d'événements volcaniques récents tout le long de l'archipel et l'architecture du nouveau volcan situé à l'est de Mayotte et de son substratum. Elle informe aussi sur l'évolution sédimentaire et les grands glissements. Les données SISMAORE sont analysées dans le cadre du projet ANR Coyotes https://anr.fr/Projet-ANR-19-CE31-0018, afin de mieux comprendre le contexte géodynamique de l'archipel pour une meilleure gestion des risques.

Martinique : une cartographie des formations géologiques de surface pour les mouvements de terrain

Après La Réunion et Mayotte, c'est désormais la Martinique qui bénéficie d'une couverture cartographique au 1/25 000 de la géologie de surface sur 60 % de son territoire. La méthodologie mise en œuvre par le BRGM couplant acquisitions de terrain et traitement des données électromagnétiques héliportées a permis l'élaboration d'une carte précise des formations du régolithe, enrichie d'une base de données de 5 767 affleurements et plus de 18 000 photos. Ces documents serviront notamment à produire les nouvelles cartes de l'aléa mouvements de terrain.

Cigéo : un nouveau programme scientifique pour le projet de centre de stockage

Le BRGM accompagne l'Andra dans l'élaboration de son programme scientifique de caractérisation et de modélisation multi-échelles des aquifères karstiques des calcaires du Barrois dans l'est de la France : cette partie superficielle du site de Cigéo doit accueillir les installations de surface du futur centre de stockage géologique de déchets radioactifs. Une thèse co-encadrée par l'université de Lorraine, l'Andra et le BRGM a débuté et un programme de R&D pluridisciplinaire a été conçu par le BRGM et l'Andra et sera réalisé dans les années à venir par différents contributaires.

Claude Delor
Chef de projet
Cameroun

Marc Urvois
Chef de projet
système d'information
géoscientifique

Thomas Fullgraf
Géologue,
chef du projet
Gemmap au Malawi

Carol Zammit
Directrice de la
succursale BRGM
Limited au Malawi

Des clés pour encourager le développement économique en Afrique

Au Cameroun comme au Malawi, l'expertise du BRGM a été sollicitée pour actualiser les connaissances géologiques et valoriser le potentiel minier. L'enjeu de ces projets au long cours : favoriser le développement économique de ces pays en conférant aux autorités une plus grande autonomie dans la gestion des géoressources et l'aménagement de leur territoire.

En 2016, deux équipes du BRGM posent leurs valises au Cameroun et au Malawi. Dans le premier de ces pays, l'établissement français, associé à des partenaires camerounais (BEIG3) et finlandais (GTK), est missionné pour un projet de renforcement des capacités dans le secteur minier (PRECASEM). La première phase (2016-2018) couvre 170 000 km² ; la seconde (2019-2021), en étendant le programme sur 220 000 km², aboutit à la mise à jour des connaissances géologiques sur la quasi-totalité du territoire camerounais (80 %) ! *« Il s'agissait toujours d'actualiser et d'enrichir la carte géologique du pays et de réaliser des campagnes d'exploration géochimique mais, cette fois, nous ne nous sommes pas limités aux ressources minérales qui peuvent intéresser les opérateurs miniers,* souligne Claude Delor, chef de projet. *Nous avons aussi mis en évidence les géomatériaux, les matériaux de carrière, de construction, les roches ornementales, etc., qui sont susceptibles d'irriguer le tissu économique local à court terme. »*

Un outil de travail innovant

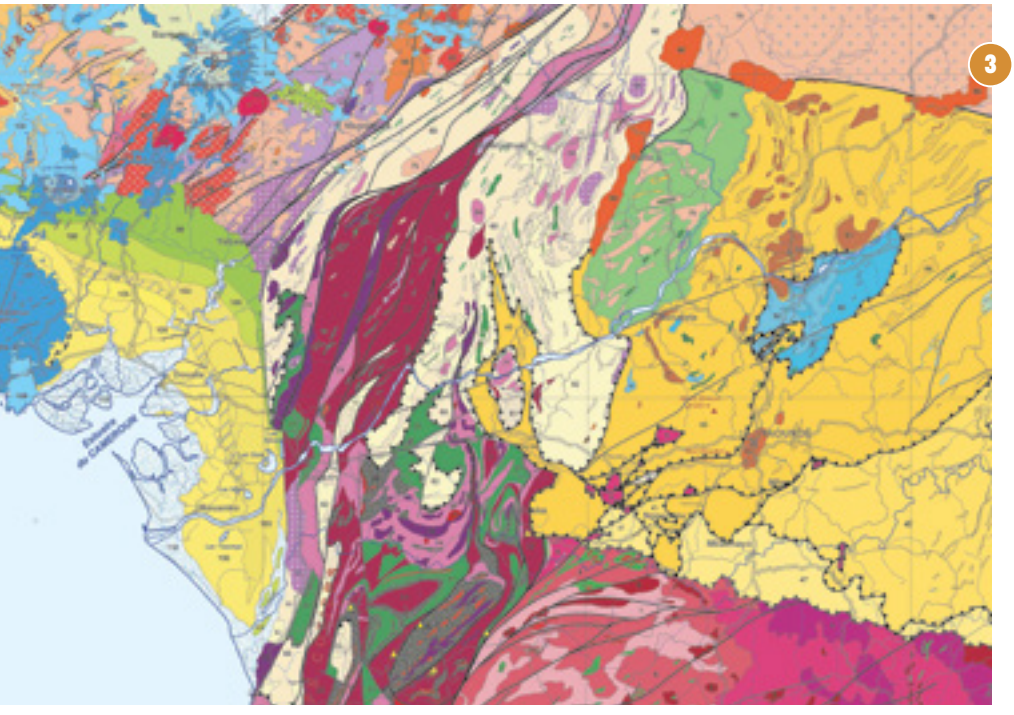
Financé par la Banque mondiale, le projet « Cameroun 2 » permet d'établir trois cartes du pays à l'échelle 1/1 000 000 présentant des synthèses géologique, gîtologique et des géomatériaux. Elles sont complétées par 18 cartes géologiques au 1/200 000 qui affichent les ressources minérales et les géomatériaux – 14 autres avaient été produites dans le cadre de Cameroun 1 – ainsi que 12 cartes géochimiques. Pour centraliser, conserver, diffuser et valoriser ces données, un système d'informations géologiques et minières (SIGM) est créé, qui met également à disposition près d'un millier de documents. *« Le SIGM est un outil de travail innovant pour les opérateurs miniers et les services de l'État mais aussi un support de connaissances géoscientifiques de premier ordre pour les enseignants, les chercheurs, les étudiants, les aménageurs, les collectivités… »*, avance Marc Urvois, en charge de ce SIGM. Le PRECASEM a enfin permis de faire monter en compétences une soixantaine d'homologues camerounais, formés à la géochimie et la géologie ainsi qu'à la gestion, l'actualisation et la maintenance du SIGM. Le renforcement des capacités s'entendant aussi au plan matériel, des équipements ont été fournis pour mettre à niveau les infrastructures scientifiques. Les résultats de Cameroun 2, restitués localement en décembre 2021, ont été largement relayés par les médias nationaux.

Le projet *Geological Mapping and Mineral Assessment of Malawi* (Gemmap), financé par la France *via* une convention cadre signée avec cet État africain, s'est lui aussi achevé en 2021. Mis en œuvre par un consortium piloté par le BRGM, avec pour partenaires les services géologiques de Finlande (GTK) et d'Afrique du Sud (CGS), Gemmap visait à appuyer le développement économique du pays par la diversification du secteur des ressources minérales. Ce qui nécessitait une actualisation de sa couverture cartographique géologique et un nouvel inventaire de son potentiel minier. L'ensemble du territoire est aujourd'hui couvert par 40 cartes géologiques au 1/100 000, 10 cartes géologiques et 10 cartes structurales au 1/250 000 ainsi que 3 cartes de synthèse au 1/1 000 000, dont une sur les ressources minérales.

Des cartes sur les risques naturels

Pour les besoins de la carte géologique du Malawi, sept campagnes de terrain sont effectuées par plusieurs équipes simultanément. Pour l'inventaire des occurrences minérales, des levés géochimiques sont réalisés dans sept secteurs, sur la base de l'actualisation des données. Des cartes sur les risques naturels sont également produites : elles illustrent les zones sujettes à différents types d'aléas, en particulier les inondations, les glissements de terrain et les tremblements de terre.

Gemmap a par ailleurs permis de dispenser 37 formations à plus de 300 stagiaires et étudiants malawites, sur le terrain et en laboratoire, lors de stages et de sessions ou encore dans le cadre de formations diplômantes, avec des masters effectués au Malawi, au Ghana et en Australie. *« Nous avons couvert tous les champs qui permettront à nos homologues de continuer à approfondir leurs connaissances dans le domaine des géosciences »*, résume Carol Zammit, adjointe au chef de projet. Comme au Cameroun, les laboratoires ont été équipés et remis en état. Un centre de documentation a également été érigé. Une conférence de restitution intermédiaire a, par ailleurs, réuni 300 personnes en deux jours, dont plusieurs opérateurs miniers. ■



1 — Relevé de terrain sur un inselberg granitique-secteur Djoum, extrême Sud Cameroun.
© BRGM - C. Delor

2 — Carte géologique du Malawi au 1/1 000 000e.
© BRGM

3 — Extrait de la carte géologique du Cameroun au 1/1 000 000. Ce type de données géoscientifiques est publié sur le nouveau portail de données SIGM (*sigm.minmidt.cm.*) qui regroupe près de 1 000 documents dont les cartes géologiques, géochimiques et de géomatériaux établies lors du projet "Cameroun".
© BRGM

Vallon de Savine (Parc national de la Vanoise, Savoie). Géosystèmes et écosystèmes sont étroitement liés. Les données géologiques sont essentielles pour étudier la biodiversité. Le BRGM est un appui précieux pour le ministère notamment pour la réalisation de la cartographie nationale des habitats naturels.
© BRGM - F. de Martin

L'interview partenaire

Claire de Kermadec

Chef de projet connaissance au ministère de la Transition écologique (DGALN - Direction de l'Eau et de la Biodiversité, sous-direction de la Protection et de la Restauration des écosystèmes terrestres, bureau de la Politique de la biodiversité)

« Pour étudier la biodiversité, les données géologiques sont essentielles. Le BRGM met à disposition ces données, mais aussi et surtout son expertise pour les valoriser. »

— Quel peut être le rôle du BRGM dans un projet sur la biodiversité ?

CLAIRE DE KERMADEC — Nous connaissons bien les liens qui existent entre la géologie et la biodiversité et leurs interdépendances, la géologie façonne nos paysages et les écosystèmes qu'ils recouvrent. Le rôle du BRGM est donc majeur car il détient un grand nombre de données de géologie et une expertise unique sans laquelle il serait difficile de l'exploiter. Il est d'ailleurs un acteur essentiel au pilotage de l'inventaire national du patrimoine géologique.

— Quel a été son rôle en particulier dans le programme de cartographie des habitats naturels ?

C.K. — Avec le projet Carhab, lancé par le ministère de la Transition écologique, nous créons une cartographie nationale des habitats naturels et semi-naturels permettant d'alerter sur les enjeux de biodiversité et de guider les politiques publiques en matière d'aménagement du territoire.

Les données géologiques détenues par le BRGM sont également très précieuses au programme Carhab : la méthodologie s'attache à modéliser, à l'aide des données disponibles, les habitats naturels. Nous nous sommes rapidement rendu compte que les données géologiques jouaient un rôle prédominant pour la qualité de cette modélisation. Grâce à elles nous étions bien plus précis sur l'identification des habitats naturels ! Le BRGM nous a donc accompagné pour améliorer notre méthodologie et *in fine* la qualité des résultats.

— Quel bilan pour cette collaboration ?

C.K. — Un bilan très positif ! Opérateur historique et très compétent des géosciences, le BRGM s'est révélé un maillon fort du programme ! Il met à disposition ses données, mais aussi et surtout son expertise pour les valoriser.

Dans ce projet novateur au plan européen (lire *« Carhab métropole : la cartographie en appui aux enjeux de la biodiversité »*, page 15), tant au plan technique que sur l'échelle et la mise en œuvre au plan national, le BRGM a aussi été un précieux partenaire force de proposition. Il a été moteur pour continuer ce travail sur les Outre-mer et la frange littorale de la Guyane alors même que le programme Carhab n'est encore qu'à ses débuts sur ces territoires. ■

GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

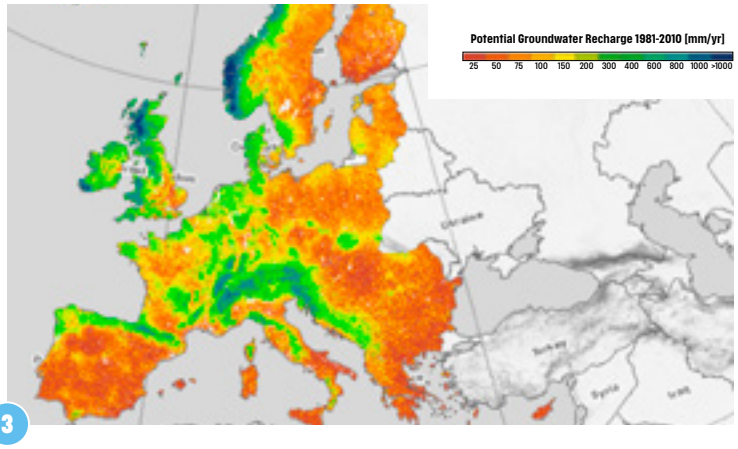
Promouvoir une gestion durable de la ressource en eau face aux changements globaux

Cascade des Tufs, dans le Jura. La Petite source de la Cuisance, rivière souterraine, sort du massif calcaire, *via* des galeries souterraines, et forme une cascade avec de nombreuses cavités creusées dans le tuf.
© Abobe Stock

La disponibilité et la qualité des eaux souterraines sont affectées par le changement climatique, l'intensification de l'urbanisation et les pratiques agricoles et économiques. Le BRGM s'applique à mieux caractériser, comprendre le fonctionnement des aquifères et l'impact de ces phénomènes sur les grandes masses d'eau. Il développe des services prédictifs visant à fournir des prévisions quantitatives et qualitatives sur l'état des nappes. Il étudie également les processus de transfert et de transformation des pollutions diffuses dans les aquifères. Il élabore ainsi des solutions technologiques de même que des outils de gouvernance qui favorisent la préservation et la gestion durable des eaux souterraines dans les territoires.

1

2



3

TACTIC* évalue l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines

Le BRGM a participé au projet GeoERA TACTIC. Objectif : contribuer à harmoniser l'évaluation des impacts du changement climatique sur les eaux souterraines et les eaux de surface. Les résultats doivent permettre de soutenir l'élaboration des politiques de l'UE et de fournir une aide à la décision. Au sein de vingt partenaires de dix-sept pays, le BRGM a contribué à créer une boîte à outils et des méthodes pour les évaluations des impacts du changement climatique, un guide de bonnes pratiques pour leur sélection et leur application, mais aussi la plateforme d'information GeoERA. https://geoera.eu/projects/tactic9/

HOVER* étudie le lien entre qualité des eaux et contexte géologique

Étudier les processus hydrogéologiques et le contexte géologique qui contrôlent la dissolution et le transport des éléments d'origine naturelle et anthropique dans les eaux souterraines. Le tout en lien avec la santé et l'environnement… C'est le but de GeoERA HOVER, dont le BRGM est coordinateur. Les travaux ont permis de mieux caractériser le lien entre la qualité des eaux et le contexte géologique. Des méthodes, modèles et outils ont été développés pour faciliter l'évaluation à l'échelle européenne de la qualité des eaux, et mieux comprendre les disparités observées notamment sur les types d'aquifères. https://geoera.eu/projects/hover8/

RESOURCE* : une méthodologie pour classer les aquifères karstiques et proposer des recommandations de gestion

Photo 3 / Dans le cadre du projet GeoERA RESOURCE, le BRGM a participé au développement d'une méthodologie harmonisée à l'échelle de l'Europe pour classer les aquifères karstiques. Une typologie a été adoptée pour la gestion de ces aquifères : l'indice de réserve décrit les volumes potentiels exploitables, et l'indice de vulnérabilité décrit la sensibilité à une pollution. Le BRGM a développé un outil pour automatiser le traitement numérique du suivi des débits et des niveaux d'eau pour caractériser le fonctionnement hydrodynamique des aquifères karstiques. Il a été appliqué à quinze cas d'aquifères karstiques localisés à travers toute l'Europe. https://geoera.eu/projects/resource9/

AQUAREF, un bilan des risques de contamination sur l'échantillonnage en eau souterraine

Photo 2 / Le BRGM est membre du laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques AQUAREF. Depuis quinze ans, ce consortium, regroupant également l'IFREMER, l'INERIS, l'INRAE et le LNE a pour mission de fiabiliser les données de surveillance sur l'eau. En 2021, le BRGM a notamment organisé un exercice d'intercomparaison sur l'échantillonnage des eaux souterraines, qui a permis de faire un état des risques de contamination pour des substances complexes comme les phtalates, les composés perfluorés et certains produits de soin corporel. Le BRGM a également apporté les éléments techniques pour la reconnaissance réglementaire des échantillonneurs passifs : campagnes de démonstration, guides, formations, référentiels pour les bases de données. https://www.aquaref.fr/

Une thèse sur les bassins karstiques pour la compréhension des crues

Photo 1 / Le BRGM a financé et co-encadré une thèse sur les bassins karstiques pour améliorer la compréhension de leurs processus de crue. Menée dans trois régions françaises sur 120 stations de mesure, elle met en évidence l'importance des flux souterrains interbassins, dresse une typologie du rôle du karst en crue, et ouvre la voie à une meilleure modélisation des crues sur bassins karstiques afin d'améliorer leur prévision.

PROMISCES contribue à l'économie circulaire en prévenant les polluants d'origine industrielle

Comment aider à établir une économie circulaire zéro pollution ? C'est le sens du projet européen PROMISCES, coordonné par le BRGM et prévu jusqu'en 2025 avec vingt-sept partenaires issus de neuf pays européens, qui va développer des solutions innovantes destinées à surveiller, prévenir et éliminer les polluants persistants dans l'environnement. À l'étude : l'origine, les voies de transfert et le devenir des polluants mobiles et persistants tels que les substances per- et polyfluoroalkylées ou PFAS dans l'environnement. Avec en ligne de mire des solutions innovantes : des méthodes de surveillance, des outils de prédictions et d'aide à la décision et des technologies nouvelles pour éliminer ces polluants potentiellement nocifs des sols et des sédiments, ainsi que des eaux dont les eaux souterraines.

1 — Sonde CTD, mesurant la variation du niveau d'eau au passage de la Méduse, Aven Castelette (Var).
© SpéléoH2O - T. Lamarque

2 — Échantillonnage sur forage de reconnaissance (site de Gaye). Essai d'intercomparaison AQUAREF.
© BRGM - J.-Ph. Ghestem

3 — Exemple de résultat intégré dans EDGI : la carte européenne de la recharge potentielle.
© 2022_GeoERA

** Projets GeoERA cofinancé par l'Union européenne dans le cadre du programme Horizon 2020.*

Nicole Baran
Hydrogéologue,
Chef de projet recherche
et développement

Anne Togola
Chimiste analytique,
Chef de projet recherche
et développement

Polluants émergents : mieux évaluer la contamination des eaux souterraines

La connaissance de la qualité des eaux souterraines est un enjeu majeur pour déployer des politiques publiques adaptées. Avec les deux projets ACCES et BEMOL, le BRGM cherche à mieux évaluer la présence et la provenance de polluants émergents *via* des développements de méthodes analytiques et des campagnes de mesures.

L'expertise des équipes de scientifiques du BRGM, allant de l'analyse à la compréhension du comportement des polluants dits d'intérêt émergent, permet de caractériser la présence dans les eaux souterraines de molécules aujourd'hui peu recherchées. Ainsi, le BRGM développe et déploie de longue date des méthodes analytiques pour la recherche de nouveaux composés dans les eaux.

Le BRGM, particulièrement avancé dans la recherche des polluants émergents

L'enjeu est important. Deux exemples : parmi les contaminants susceptibles d'atteindre les eaux souterraines, on trouve les métabolites (ou produits de dégradation) des produits phytosanitaires. On trouve aussi le bisphénol A, plastifiant utilisé pour les emballages de produits dans l'industrie agro-alimentaire (plastiques d'emballages alimentaires, les cannettes et les boîtes de conserve). Ce dernier est classé comme perturbateur endocrinien, avec des effets néfastes sur la fonction reproductrice qui ont entraîné son interdiction en France.

L'étude de ce type de polluants est d'un intérêt majeur pour orienter les politiques publiques, en particulier en termes d'environnement et de santé. Il faut évaluer leur présence, leur provenance *via* des campagnes de terrain. Le BRGM y travaille, notamment dans le cadre de deux projets de recherche.

ACCES : une nouvelle approche analytique pour évaluer l'occurrence des métabolites de produits phytosanitaires

On compte en France environ 350 substances actives entrant dans la composition des produits phytosanitaires. La majorité peut conduire à la formation de métabolites dont certains pourraient migrer vers les eaux souterraines. Pour le vérifier, le BRGM, avec la Chambre d'agriculture de Dordogne, l'Institut de chimie organique et analytique d'Orléans et le Syndicat mixte des eaux de la Dordogne, met en œuvre une approche analytique innovante : la spectrométrie de masse haute résolution. Elle permet de caractériser la présence ou l'absence des métabolites. Le projet ACCES, qui prendra fin à la mi-2022, fixera les potentialités de cette nouvelle approche analytique et donnera des éléments de réponse quant à l'occurrence de certains métabolites dans les eaux souterraines.

BEMOL étudie la présence et l'impact des bisphénols

Finalisé en 2021, avec une suite déjà en cours, le projet BEMOL, piloté par l'INRAE et associant le BRGM et le CHU de Tours s'intéresse quant à lui, aux bisphénols, notamment au bisphénol A (BPA), reconnu comme perturbateur endocrinien et nocif pour la fonction reproductive des animaux et des femmes et hommes. Ces composés, dont le bisphénol S (BPS), sont utilisés en substitution du BPA : il est donc important d'étudier leur présence dans l'environnement, ainsi que l'exposition et les effets chez l'humain, sachant que les premières données obtenues par les partenaires du projet vont dans le sens d'effets similaires pour les BPA et BPS.

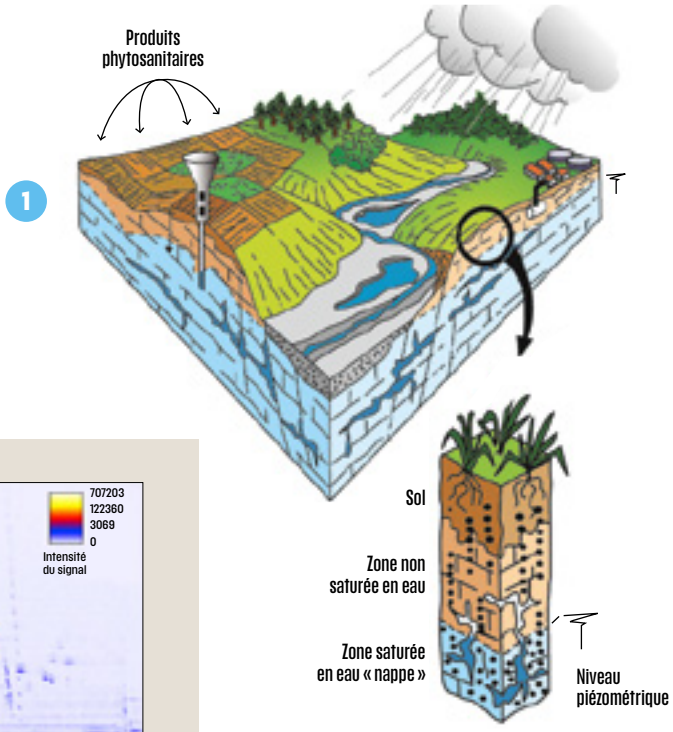
De façon concrète, BEMOL évalue l'exposition environnementale des bisphénols dans les six départements de la région Centre-Val de Loire et leurs effets possibles. Quels niveaux de contamination environnementale des eaux en bisphénols ? Quels niveaux d'exposition entraînant des effets sur la reproduction ? Comment le BPS peut affecter la reproduction ? Quelles sont les interactions avec le statut métabolique de l'individu ? Des tests sont réalisés en utilisant des tests *in-vitro* et un modèle sur la brebis.

Grâce aux développements analytiques et aux campagnes de mesures effectuées, la présence de bisphénols (principalement A et S) a été mise en évidence sur le territoire régional pour la première fois. Les effets du BPS portent sur l'altération de la production d'hormones de cellules ovariennes. Il modifie aussi la qualité de l'ovocyte chez la brebis. Des essais qui ont aussi permis d'identifier des voies d'expositions indirectes aux bisphénols *via* l'environnement pouvant affecter la fécondité. ■

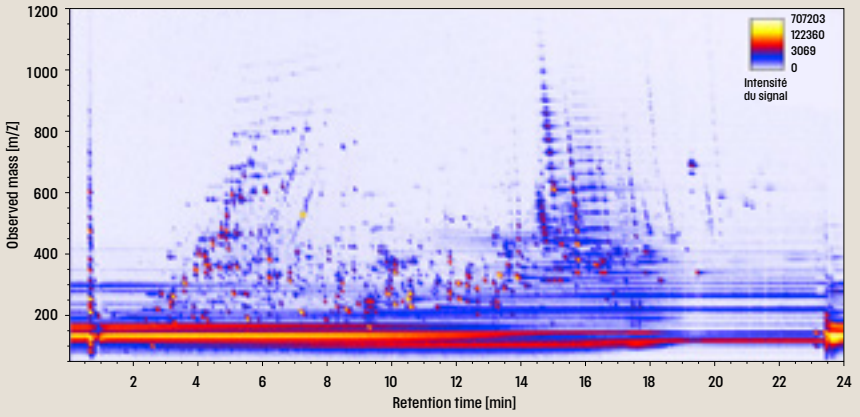
1 — Schéma explicatif du potentiel transfert des produits phytosanitaires et leurs métabolites depuis le sol vers les eaux souterraines.
© BRGM

2 — Chromatogramme 3D d'un échantillon d'eau souterraine analysé en chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution. Chaque point de couleur est une entité (masse et temps de rétention associés à une intensité de signal) qui correspond à une molécule naturelle ou anthropique.
© BRGM - C. Soulier

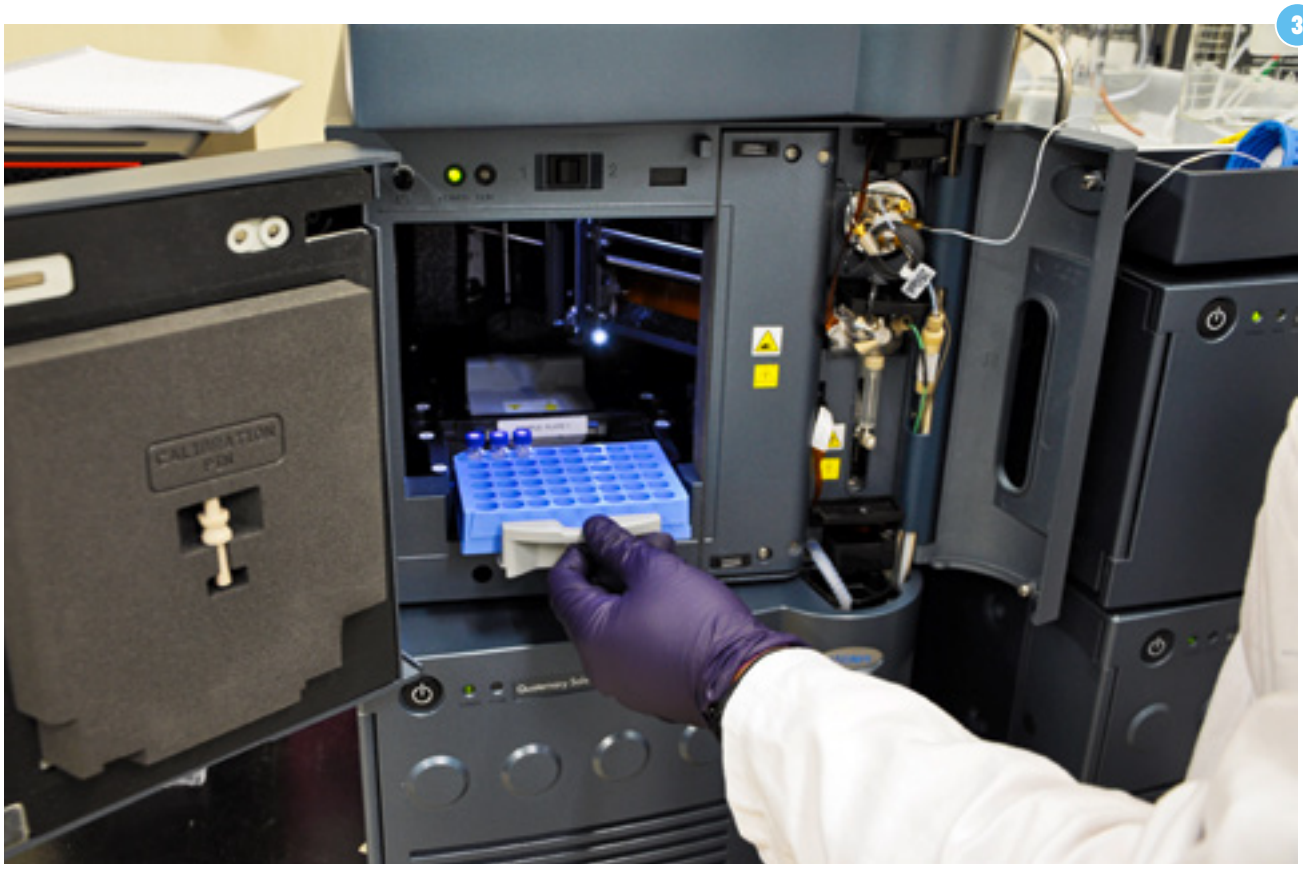
3 — Le spectromètre de masse est utilisé pour analyser des échantillons à la recherche de métabolites de substances phytosanitaires.
© BRGM - C. Boucley



1



2



3

La source de la Goule Noire dans les gorges de la Bourne, Drôme.
© Philippe Crochet

L'interview partenaire

Nicolas Juillet

Vice-Président de France Eau Publique, président du SDDEA (Syndicat Départemental des eaux de l'Aube)

« Les compétences du BRGM sur les eaux souterraines sont essentielles, pour travailler l'eau dans toutes ses dimensions, à toutes les échelles. »

— Comment résumer les enjeux actuels de l'eau pour un syndicat comme le vôtre ?

NICOLAS JUILLET — Le SDDEA a 80 ans et a pris son essor en 2015 où il est passé de simple appui (support, conseil…) à opérateur à l'échelle du département. En effet, depuis la Loi NOTRe sur l'eau potable, l'assainissement, les eaux pluviales et GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations), tous les syndicats communaux ont été dissous, rassemblés, et dans l'Aube les compétences ont été transférées au syndicat qui se trouve maître d'ouvrage à l'échelle du territoire.

Les enjeux sont forts. Par exemple, le département de l'Aube compte 300 000 habitants… et pour les fournir en eau il n'y a pas moins de 200 points de captage. Impossible de réaliser des études sur 200 bassins de captage : il faut rationaliser.

De plus, le changement climatique se fait ressentir dans notre région, preuve en est par exemple les tensions sur la ressource lors des pics de consommation d'eau pendant les vendanges. Son impact commence à peser pour l'ensemble de nos compétences, et nous devons le modéliser. Il s'agit de gros investissements dans la durée, avec une « Stratégie 2100 » afin que les infrastructures en eau soient pérennes. Et des problèmes techniques concrets d'interconnexion, de développement des infrastructures dans un cadre de durabilité, de rationalisation…

— Pourquoi avoir choisi le BRGM ?

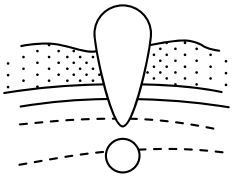
N.J. — L'anticipation devient donc un maître-mot : Quel peut être le niveau de captation prévisionnel ? Quels investissements dans ce contexte ? Comment améliorer la qualité de l'eau avec le problème du transport des polluants émergents ? (lire *Polluants émergents : mieux évaluer la contamination des eaux souterraines* page 24).

Dans ce cadre les contacts sont déjà anciens entre le BRGM et nous. Avec un tournant, il y a trois ans, dans le cadre du changement climatique, où il est devenu un partenaire clé. En quelque sorte, le syndicat est devenu un « laboratoire de terrain » du BRGM. Et les compétences eaux souterraines du BRGM nous sont essentielles, pour travailler sur l'eau dans toutes ses dimensions, à toutes les échelles.

— Concrètement, quels travaux et quel bilan ?

N.J. — Dix schémas d'alimentation en eau potable sont en cours d'établissement sur le département selon la géologie des sols. Le BRGM travaille sur des modèles de prévision de niveau des nappes dans le temps avec des hypothèses sur les différents scénarios d'évolution climatique. Pour ce faire, il procède à une adaptation locale des modèles globaux dont il dispose. Et il tente de répondre à des questions clés : quels aménagements de surface ? Dans quel département agricole ? Comment ne pas se débarrasser de l'eau mais la stocker ou l'orienter ?

Le BRGM doit proposer des solutions concrètes et pérennes. À ce stade, nous sommes pleinement satisfaits des premiers éléments de ce partenariat, avec un point d'étape à venir et des schémas d'ici à 2026. Les éléments de nos travaux seront partagés avec nos partenaires et notamment la Chambre d'agriculture. ■



RISQUES ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Maîtriser les risques et leurs impacts pour assurer la résilience des territoires

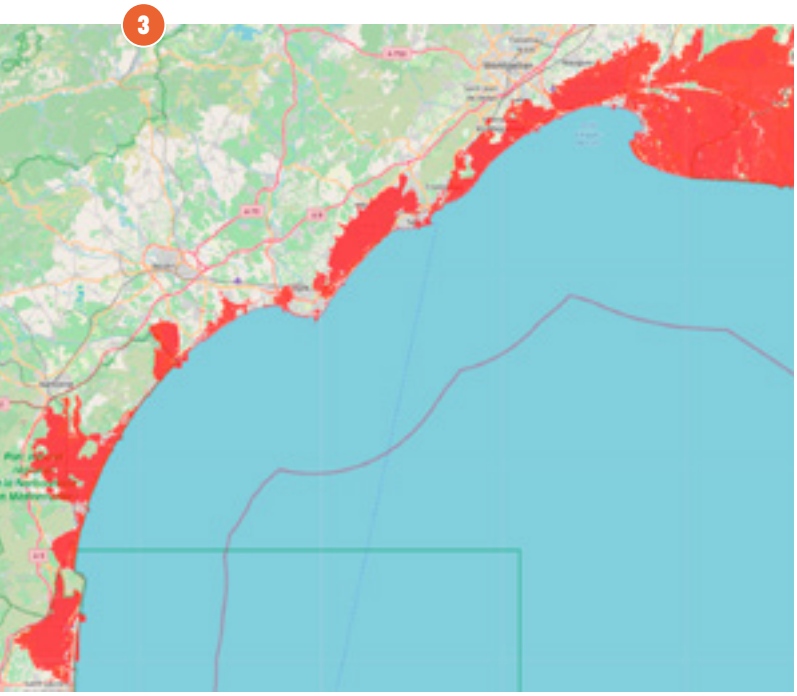
Suivi du déplacement de gasoil dans le pilote plurimétrique (PPM/PRIME) dans le cadre du projet SPLODGE. Ce projet vise à mettre au point une méthode de localisation et de quantification des hydrocarbures pétroliers légers (sous forme de produit pur) au niveau de la zone non saturée et du toit de la nappe à l'aide de méthodes de diagnostics conventionnels (forage, mesures et analyses...) couplées à des méthodes de suivi géophysique (permittivité et résistivité). Ces méthodes de reconnaissance sont accompagnées par des modélisations multiphasiques.
© BRGM - D. Depoorter

La vulnérabilité des territoires face aux aléas naturels et aux pollutions anthropiques est croissante sous l'effet du changement global. Le BRGM a fait de la science des risques un pilier essentiel de ses travaux. Cherchant à favoriser leur aménagement durable, il accompagne les territoires à travers une approche intégrée de la chaîne du risque, de la prévention à l'adaptation en passant par la préparation, l'alerte, l'appui à la gestion de crise, le relèvement et la remédiation. Le BRGM intervient également dans la gestion des anciens sites miniers ou industriels et pour la reconquête des sols pollués. Il favorise notamment le recyclage des terres excavées en développant des méthodes de caractérisation visant à certifier leur potentiel de valorisation et à assurer leur traçabilité.

1

2

3



1 — Pilote de traitement des sargasses.
© DEAL Martinique

2 — Effondrement de 6 m de diamètre et 3,5 m de profondeur d'origine karstique survenu sur la levée de la Chevauchée à Saint-Jean-le-Blanc (45).
© BRGM - B. Chevrier

3 — Exemple de carte réalisée *via* le portail CoCliCo. Ici, carte des zones basses, situées en deçà de la marée haute à laquelle a été superposée 1 m d'élévation du niveau de la mer.
© BRGM

Le BRGM décroche le projet CoCliCo, service climatique pour l'adaptation côtière

Photo 3 / CoCliCo vise à développer un service climatique pour l'adaptation côtière en Europe. Il fournira des données de vagues, de surcote, d'élévation du niveau de la mer, d'aléa submersion et érosion, de vulnérabilité et d'exposition des personnes et des infrastructures, pour plusieurs scénarios de changement climatique, socio-économiques et d'adaptation. L'échelle ciblée, de 25 m, est complémentaire avec les travaux de submersion à haute résolution menés par le BRGM dans le cadre des plans de prévention des risques littoraux. Un service qui prendra la forme d'une plateforme, mettant en œuvre les principes FAIR pour la gestion des données de recherche (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable).

Risque karstique sur l'avenue Gaston Galloux à Orléans

Photo 2 / De la cartographie de l'aléa à l'étude de stratégies de gestion du risque, le BRGM a mené à Orléans des travaux sur le risque karstique touchant une avenue très fréquentée. Permettant le passage de la Loire et un accès rapide au nord et au sud de l'agglomération, l'avenue Gaston Galloux traverse un secteur où existe un risque d'effondrement karstique, avec des trous pouvant atteindre 10 m de diamètre. Le BRGM a évalué l'aléa de mouvements de terrain *via* une synthèse géotechnique approfondie et une méthode innovante. Les recommandations ébauchent un programme d'investigations pour préciser le risque, et des propositions pour intégrer ces phénomènes aux scenarios de gestion de crise.

Caractérisation des failles et zonage sismotectonique de l'île d'Hispaniola

Suite au séisme du 10 janvier 2010 qui a dévasté la région de Port-au-Prince, capitale d'Haïti, le BRGM a réalisé plusieurs microzonages sismiques sur Haïti et la République dominicaine. Les résultats obtenus sont valorisés par la publication d'une synthèse portant sur la caractérisation des failles actives et la réalisation d'un zonage sismotectonique sur l'ensemble de l'île d'Hispaniola. Outre la vision d'ensemble portée sur les deux pays, ces résultats constituent une base d'information essentielle pour une évaluation homogène de l'aléa sismique d'Hispaniola.

Antilles : traiter l'arsenic et la chlordécone des sargasses

Photo 1 / Le projet ANR SargAs&CLD coordonné par le BRGM en partenariat avec les universités d'Orléans, de Pau, de Guyane et des Antilles, ainsi que la PME ADERA/UT2A et l'université du Texas a pour objectif de caractériser chimiquement les jus de sargasses échouées en bord de plage ou stockées à l'intérieur des terres dans les Antilles. Mais aussi de proposer des méthodes innovantes pour traiter l'arsenic et la chlordécone, insecticide, bioaccumulé par les sargasses. Enfin, il a été analysé l'acceptabilité sociale des stockages de sargasses. Les travaux ont permis de localiser l'arsenic et d'analyser sa spéciation à l'échelle de la cellule au sein des sargasses, des analyses montrant que l'arsenic est essentiellement associé aux parois des cellules et surtout qu'il est principalement présent sous une forme inorganique. Il est suggéré que l'arsenic, naturellement présent en mer, s'accumule involontairement dans les sargasses de par sa similitude chimique avec des éléments nutritifs essentiels tels que les phosphates.

Priorisation des polluants organiques d'intérêt émergent dans les sols

Le projet de R&D PREMISS développe une approche de priorisation des polluants organiques d'intérêt émergent dans les sols (CECs). Coordonné par le BRGM et réalisé en partenariat avec des équipes néerlandaises et belges, PREMISS a permis de synthétiser les données d'occurrence des CECs présents dans les sols, les boues de stations d'épuration, les sédiments et les eaux souterraines pour la France, la Belgique et les Pays-Bas.
Un prototype de priorisation des CECs selon leur concentration (dans l'eau et le sol) et leur toxicité a été conçu et testé pour un ensemble de composés aux propriétés hétérogènes.

SOILVal : qualité des sols et instruments juridiques

Le BRGM a coordonné le programme de recherche européen SOILval, financé par la plateforme européenne SOILveR qui encourage la recherche intégrée et transfrontalière sur la gestion des sols et des terres. L'objectif était d'évaluer comment les fonctions des sols et les services écosystémiques associés sont reconnus et intégrés dans la planification et l'aménagement du territoire en France et en Wallonie. Il a été fait une analyse juridique de la prise en compte de la qualité des sols dans les instruments juridiques et un état de l'art des solutions de refonctionnalisation des sols. Des outils d'aide à la décision en appui à la mise en œuvre de ces solutions, ainsi qu'une revue des connaissances sur la qualité des sols en France et en Wallonie, ont également été réalisés. Sur la base de ces résultats, il a été rédigé des recommandations disponibles sur le site SOILveR. www.soilver.eu/

DEPOLOND2, des micro-ondes pour volatiliser des polluants organiques

En partenariat avec SUEZ et EDF, le BRGM a mené DEPOLOND2, qui vise à utiliser l'énergie des micro-ondes afin de volatiliser des polluants organiques. Le dispositif expérimental comprend une antenne de 2 m (2,450 GHz, 2 kW) insérée dans une colonne de sable sous des conditions proches du terrain. Les résultats sont prometteurs et permettent d'améliorer notre compréhension de la dynamique de chauffage, grâce à 62 capteurs de température. La prochaine étape consistera à assister le chauffage par une injection d'air *via* l'antenne pour mieux diffuser la chaleur dans le sol.

André Burnol
Ingénieur/chercheur
en hydrogéochimie

Behrooz Bazargan-Sabet
Expert à la direction Risques
et Prévention

Séisme du Teil : un déclenchement d'origine hydraulique dû à un épisode pluvieux intense ?

Quelle est l'origine du tremblement de terre du petit village du Teil, survenu en novembre 2019 et qui a provoqué de sérieux dommages ? La tectonique, ou une activité humaine qui aurait pu être un déclencheur ? Les travaux du BRGM apportent des réponses liées à un déclenchement d'origine plutôt hydraulique.

Le Teil, Ardèche, 8 000 habitants et épicentre d'un tremblement de terre… Le village a connu le 11 novembre 2019 à 11h52 un séisme de magnitude élevée : magnitude locale 5,4, et magnitude « de moment » 4,9. Pas de victimes, mais des dégâts matériels très importants. Des personnes ont dû être déplacées, et le séisme a été ressenti jusqu'à Montélimar à environ 7 km de là (près de 40 000 habitants).

La localité est située dans la vallée du Rhône, sur une zone de failles connue. Il s'agit pourtant d'un épisode d'une magnitude rare en France, le dernier de cette ampleur remontant à 1967, à Arette dans le piémont béarnais des Pyrénées, qui était d'une magnitude locale de 5,3.

Le séisme du Teil a eu des implications sur la centrale nucléaire de Cruas-Meysse, à 14 km, fermée pendant un mois, suscitant une forte inquiétude des populations dans la région.

Réévaluer l'aléa séismique en France

Ce tremblement de terre est donc un événement marquant, singulier en France. Les chercheurs sismologues se sont immédiatement penchés sur le sujet. Il existe en effet à proximité de l'épicentre une carrière exploitée historiquement par l'entreprise Lafarge Holcim France, et très vite le CNRS s'est emparé de la question. Une étude menée en décembre 2019 par un groupe de travail de la communauté scientifique française autour du CNRS a conclu que si le séisme est probablement naturel, non induit par une activé humaine, la présence de la carrière toutefois aurait pu être un déclencheur. Le BRGM, travaillant en partenariat de recherche avec le groupe cimentier Lafarge Holcim, a mis en avant une autre hypothèse. Les résultats montrent que le déclenchement de l'événement serait dû à la réactivation d'une faille par une surpression d'origine hydraulique.

Un modèle géologique complet de la zone en 3D

Les chercheurs du BRGM ont réalisé des modélisations mécaniques pour prendre en compte la configuration particulière de la topographie en surface, mais aussi l'historique des volumes excavés par l'exploitation de la carrière depuis 1850 ainsi que la géométrie du système de failles.

Les données d'humidité du sol acquises par le satellite européen SMOS et la modélisation des variations de la hauteur de la zone non saturée à l'aide du code ComPASS du BRGM, ont montré que les infiltrations d'eau ont eu un impact sur la recharge, avec des surpressions hydrauliques qui sont justement maximales à l'intersection du système de failles. On parle ici de sismicité dans le domaine intraplaque avec la possibilité d'une « rupture de surface » simultanée sur deux failles distinctes.

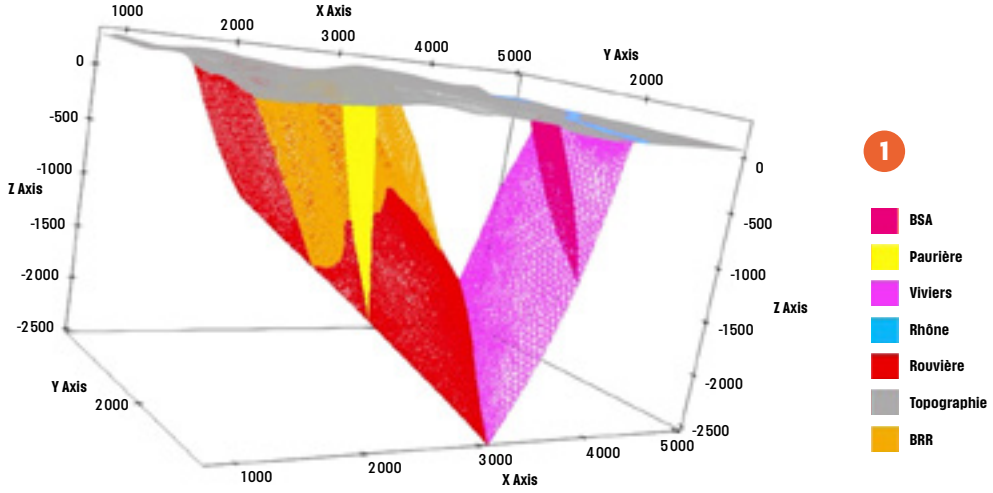
Un déclenchement hydraulique du séisme provoqué par des précipitations importantes

La seconde étape des travaux, de février à mai 2021, a confirmé le programme initial et affiné les résultats, notamment sur la localisation de la zone de surpression hydraulique maximale à l'intersection du système de failles.

Ces recherches ont pu confirmer l'hypothèse du BRGM : un déclenchement hydraulique possible du séisme. Le BRGM montre que bien sûr rien ne s'oppose à une origine tectonique du séisme du Teil. Mais qu'il peut aussi s'agir d'une secousse déclenchée par un événement externe : ici, à l'origine du déclenchement, le chargement hydraulique dû à un épisode de précipitations pluvieuses intenses dans le mois précédant l'événement sismique.

Plus largement, le séisme a non seulement révélé la nécessité de réévaluer l'aléa dans la zone, mais il a aussi relancé un débat sur la nature de l'activité sismique en France métropolitaine dans le domaine intraplaque. Le BRGM, qui fait partie des organismes français collectant les observations sismologiques relatives à la France, intègre naturellement dans ses missions ce type de travail.

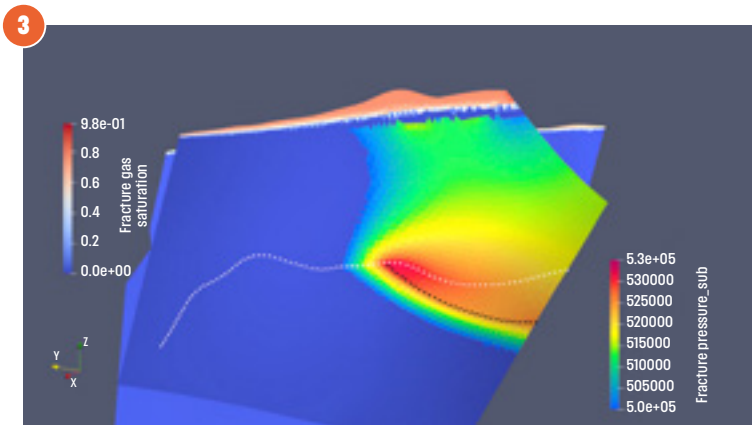
Il s'agit aussi d'un projet très original et transdisciplinaire mêlant géologie, géophysique, géomécanique, sismologie et hydraulique, qui ouvre un nouveau champ de recherche autour du sujet de l'hydrosismicité intraplaque à l'échelle européenne, le tout en lien avec le changement climatique global. De telles hypothèses sur l'hydrosismicité avaient déjà été avancées aux États-Unis depuis 20 ans ; elles sont ici confortées en France métropolitaine… ■



1 — Visualisation 3D du système de failles autour de la carrière du Teil montrant les zones d'intersections en profondeur. Modèle géologique généré par GeoModeller © BRGM - Intrepid Geophysics.
© BRGM

2 — Site du Teil proche de l'épicentre du séisme du 11 novembre 2019.
© BRGM - C. Allanic

3 — Simulation par le code ComPASS des variations de la pression hydraulique sur la faille de La Rouvière dans le mois précédant le 11 novembre 2019.
© BRGM



Stéfan Colombano
Ingénieur/chercheur

Traitement des polluants émergents : diminuer les concentrations de PFAS dans les eaux souterraines

Le projet Concerto visait essentiellement à mettre au point une technique de dépollution des eaux souterraines et des méthodes d'analyses des PFAS, des polluants émergents particulièrement nocifs.

Les « PFAS »... Il s'agit de produits chimiques, précisément des perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées, que l'on utilise couramment dans le cadre domestique ou industriel. On trouve des PFAS dans des milliers d'applications : des enduits antitaches et imperméables, d'autres résistant à l'huile (pour des papiers et cartons d'emballage alimentaires) ou encore des composés pour des mousses anti-incendie et des revêtements de sol... Ils ont des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. De plus, comme les PFAS sont particulièrement persistants dans le temps, ils nécessiteront des dépollutions importantes avec des techniques adaptées.

Un sujet majeur pour la pollution des eaux souterraines

Ces PFAS font partie des polluants d'intérêt émergent. Ce sont aussi des polluants dits réfractaires. En effet, les substances ne se dégradent pas après leur utilisation ou leur rejet dans l'environnement, du fait de leur grande stabilité chimique : outre leurs propriétés décrites plus haut, ils ne sont que peu altérés dans l'air, dans l'eau ou au soleil. Les PFAS peuvent donc être transportés loin d'une source d'émission, et de ce fait présentent un danger pour l'environnement, pouvant contaminer des eaux souterraines ou de surface et s'accumuler dans les organismes vivants.

Ils sont ainsi reconnus comme perturbateurs endocriniens et même comme agents potentiellement cancérogènes pour l'homme. Des travaux ont déjà été réalisés chez l'animal. Or, les PFAS sont encore relativement peu connus : les techniques de dépollution à un coût économiquement acceptable de ces PFAS ne sont pas à un stade avancé. C'est un gros enjeu, avec un risque sociétal important, et des risques sanitaires liés aux composés toxiques dans les eaux souterraines qui vont nécessiter une véritable dépollution industrielle.

Nettoyer des sites et sols pollués par des PFAS

Ce sujet devenant donc majeur pour de nombreux industriels et pour les autorités, avec ses conséquences sanitaires et environnementales, le BRGM, avec la société Colas Environnement travaille sur la dépollution des sites et sols pollués aux PFAS, généralement complexe sur le plan technique et coûteuse. C'est l'objet du projet Concerto, lancé au printemps 2020 et terminé fin décembre de la même année. Deux tranches à ce projet : certains hydrocarbures pétroliers compliqués à dégrader, et ces polluants émergents PFAS. Concernant les hydrocarbures, une phase de travaux de recherche sur les produits pétroliers présents dans les sols, qui représentent 40 % des pollutions des sols, a été menée à la raffinerie de Dunkerque et en laboratoire avec des surfactants et bio-surfactants (à l'aide d'une injection adaptée). Le procédé a permis d'améliorer les traitements classiques de ces composés de plus de 65 %.

De bons rendements épuratoires de PFAS en laboratoire

Pour les PFAS, qui nous intéressent ici, les recherches ont été conduites en laboratoire au centre scientifique et technique du BRGM d'Orléans. Un procédé de dépollution chimique a été mis au point sur certains de ces PFAS. Concrètement, des essais ont été réalisés avec un réducteur, un catalyseur et une matrice de diffusion, qui ont montré qu'il était possible de réduire les concentrations de PFAS dans les eaux souterraines. Un *screening* de l'efficacité de différents agents réducteurs a été effectué. Une méthode d'analyse a été mise au point sur 18 composés perfluorés présents dans les eaux. Elle a permis des analyses sur les échantillons issus des expérimentations jusqu'à de faibles concentration : de 20 à 100 ng/l selon les composés.

Les résultats de ces expérimentations ont montré que de bons rendements épuratoires ont été obtenus : jusqu'à 70 % de diminution de la concentration de certains PFAS dans les eaux souterraines !

Une rampe de lancement pour le projet Green Deal PROMISCES

Ces premiers résultats seront développés, de nouveau en partenariat avec Colas Environnement, dans le cadre du projet européen Green Deal PROMISCES, qui vise d'ici à 2025 à promouvoir la stratégie « zéro-pollution » dans l'eau, les sols et les sédiments afin de permettre l'application des principes de l'économie circulaire. Champs d'études : la provenance, le cheminement, le devenir des polluants qui se répandent facilement et sont très persistants dans l'environnement.

D'un intérêt stratégique pour le BRGM, PROMISCES est son premier projet de recherche expérimentale de cette envergure sur les PFAS, et offrira une forte visibilité dans les trois années qui viennent. ■

1 — Essais d'injectabilité de réactifs en milieu poreux.
© BRGM – D. Depoorter

2 — Traitement de sols pollués par biotertre.
© BRGM – F. Cazals

3 — Essais de traitabilité des PFAS (perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées).
© BRGM – D. Depoorter

Après-mine

Avec de nombreux travaux, le DPSM a connu une année 2021 record en termes d'activité de mise en sécurité. Des finalisations de chantiers, comme la remise à niveau des stations de relevage des eaux de Godion et Cité Dincq, la réfection de la couverture du Montredon, la mise en sécurité du site d'Abbaretz, des Puits Moïse à Rive-de-Gier et Sainte-Barbe à Bézenet, la mise en place d'un pilote de rabattement à Lochwiller… Mais aussi des travaux en urgence, avec la sécurisation d'un fontis à Saint-Étienne (lire ci-dessous). Le tout, dans une transition technique « vitale » et structurante de nos systèmes d'acquisition de données automatiques : SCADA.

Saint-Étienne : traitement d'urgence d'un fontis menaçant un commerce

Parmi ses missions, et au cœur de son métier, le BRGM, gestionnaire pour le compte de l'État des sites miniers en France, traite *via* le DPSM (Département prévention et sécurité minière du BRGM) les risques engendrés par les anciennes mines. En 2021, il a ainsi procédé en urgence à la mise en sécurité d'un bâtiment commercial et de ses abords, menacés par un fontis d'origine minière. Rappelons qu'un fontis est un effondrement soudain et très localisé du sol, qui forme un entonnoir suite à l'éboulement des terrains situés au-dessus d'un vide. C'est ce qui s'est produit dans la nuit du 2 au 3 mars 2021, sous un bâtiment commercial situé à Saint-Étienne (Loire). Un fontis d'origine minière de près de 1 000 m³ est apparu en pleine nuit, lié à l'effondrement d'une galerie minière non répertoriée, à moins de 20 m de profondeur.

Le fontis de 10 m de large et profond de 15 m a pu être mis en sécurité en moins de deux mois, l'étaiement de la façade a été la première phase de ces travaux.
© BRGM – J.-L. Nédellec

On le sait, la ville de Saint-Étienne est fortement minée, c'est même la ville de France de plus de 150 000 habitants la plus concernée par les vides miniers, suite à l'exploitation ancienne du charbon (19e siècle) et à une cité qui s'est construite en même temps que les mines. Un plan de prévention des risques miniers, établi par Géodéris, localise bien ces risques. Des événements très rares comme ici peuvent néanmoins se produire, car le plan ne couvre pas l'exhaustivité des galeries.

Ce projet est emblématique d'un volet de la mission du DPSM : la mise en sécurité d'un ancien site minier, en situation d'urgence avec des menaces sur les personnes et/ou les biens. Fort heureusement, le cratère s'est formé en pleine nuit, mais il aurait pu provoquer un drame humain. L'édifice comprenant trois magasins a d'ailleurs été gravement endommagé, avec l'effondrement partiel de la toiture et un début de basculement du mur d'enceinte. Les travaux menés par le BRGM ont démarré deux semaines après l'événement : mise en place d'un étaiement, comblement du cratère par un bouchon de 800 m³ de béton, reconstitution de l'assise du dallage et réfection des réseaux enterrés, des espaces verts et du parking. Un chantier qui s'est achevé fin avril 2021 avec un peu d'avance sur le planning prévisionnel, soit moins de 2 mois après la survenance du sinistre !

Parmi les leçons à tirer : la grande réactivité du BRGM, une mise en sécurité efficace et des mesures de conservation, et enfin une bonne coordination entre le DPSM, Géodéris et les services de l'État. ■

Jean-Louis Nédellec
Directeur, Unité territoriale après-mine Sud, BRGM

Réalisation et mise en service d'un pilote de rabattement à Lochwiller

Photo 1 / Une sonde géothermique de 140 mètres, réalisée en 2008, a permis à l'eau d'une nappe captive profonde (Lettenkohle et Muschelkalk) de remonter et de s'infiltrer dans les couches à anhydrite du Keuper. Sa transformation en gypse par hydratation est à l'origine d'un soulèvement des terrains alentour ayant provoqué des désordres sur le bâti, perturbant durablement la vie des riverains et gelant l'urbanisation du quartier.
Une solution de pompage dans la nappe profonde a été retenue pour atténuer voire stopper ce phénomène. Le projet vise à neutraliser suffisamment les circulations ascendantes le long de l'ouvrage géothermique défectueux pour éviter l'hydratation des niveaux du Keuper.
La réalisation du premier piézomètre de 140 mètres aura permis de reconnaître l'hydrogéologie locale avec l'exécution de nombreux essais et diagraphies. Ceux-ci auront servi, en cours de projet, à ajuster le dimensionnement des autres ouvrages. Ainsi, le DPSM, dans son rôle de maître d'ouvrage délégué pour le compte de l'État, a réalisé la construction et la mise en service d'un forage de rabattement associé à 3 piézomètres de pilotage. Ce dispositif permet aujourd'hui d'empêcher la remontée des eaux de la nappe profonde *via* l'ouvrage géothermique.

UTAM Sud : chauffage et climatisation grâce aux eaux de l'ancienne mine de charbon de Gardanne

Depuis le printemps 2021, les 560 m² de bureaux de l'UTAM-Sud du Département Prévention et Sécurité Minière du BRGM sont chauffés et climatisés grâce aux eaux de l'ancienne mine de charbon de Gardanne dont l'exploitation a cessé depuis 2003.
Le puits Yvon Morandat, plus important puits de mine d'Europe, contient environ 60 000 m³ d'eau libre disponibles à près de 30°C.
L'eau est pompée à plus de 300 m de profondeur puis réinjectée vers la base de l'ouvrage. L'eau captée transite en surface par un échangeur en titane et alimente deux ballons en acier de 50 m³. Après passage dans une pompe, cette eau permet de délivrer dans les bâtiments un fluide à 40°C ou à 10°C selon les besoins afin de procurer du chauffage ou du rafraîchissement.

Rénovation de stations de relevage des eaux (SRE)

Le DPSM, *via* son UTAM Nord, gère pour le compte de l'État, 52 Stations de relevage des eaux (SRE) dans le Nord et le Pas-de-Calais. Parfois, l'état de vétusté très avancé des installations nécessite de lourdes rénovations. C'est à ce titre, et sous mandat de maître d'ouvrage délégué, que la SRE Cité Dincq à Waziers (59) a été totalement réhabilitée et améliorée, en 2021.
Sujette à beaucoup d'arrivées d'eaux usées très corrosives et de déchets anthropiques, cette SRE a été pourvue, entre autres, d'un dégrilleur automatique pour lutter contre les colmatages, d'un compacteur à déchets pour réduire le volume des quelque 3 tonnes annuelles de déchets divers, et d'une seconde pompe temps sec pour la sécurisation de la continuité de service, en misant sur des technologies très performantes.
Le génie-civil a également été rénové et la SRE a été dotée d'un bardage extérieur qualitatif, pour une parfaite intégration dans le tissu urbain et la totale satisfaction du voisinage.

Plan de gestion du dépôt minier d'Auzelles

Photo 2 / Le DPSM a été missionné par la DREAL ARA pour réaliser le plan de gestion du dépôt minier d'Auzelles (63) situé en zone Natura 2000. Ce dépôt d'environ 4 ha présente un volume estimé de 150 000 m³ de résidus miniers chargés en plomb, zinc et arsenic avec un dénivelé et des pentes importantes (pente moyenne de 40 %). Une compréhension fine de ce site était nécessaire pour cibler et prioriser les mesures de gestion. Le DPSM a instrumenté et suivi le site pendant deux ans de sorte à affiner le schéma conceptuel. La quantification des voies de transfert a montré que l'érosion hydrique était largement dominante. Une réflexion par zone a été menée de sorte à optimiser le bilan coûts-avantages : suivant les zones, le scénario recommandé par le DPSM repose sur des solutions classiques (confinement) déjà éprouvées sur d'autres sites similaires ou des solutions innovantes (phytostabilisation) moins perturbatrices pour l'environnement et mieux adaptées aux accès difficiles. La mise en œuvre de ces mesures de gestion est en cours de programmation.

1 — Forage en cours d'exécution.
© BRGM

2 — Le dépôt minier d'Auzelles.
© BRGM - L. De Lary De Latour

Le pilote d'essai plurimétrique (PPM) permet d'étudier, à l'échelle la plus proche d'un milieu naturel, le transport des polluants dans un sol, de prédire leur impact environnemental et de développer des techniques de remédiation.
© BRGM - D. Depoorter

L'interview partenaire

Arnault Perrault

Directeur de Colas Environnement

« Un partenariat qui permet de rester à la pointe sur le marché de la dépollution, grâce à la synergie entre l'expertise des chercheurs du BRGM et l'excellence opérationnelle de COLAS Environnement. »

— Quelques mots sur Colas Environnement et vos enjeux en R&D ?

ARNAULT PERRAULT — Filiale du géant du BTP Colas, Colas Environnement est une société d'ingénierie et de travaux de dépollution d'une soixantaine de collaborateurs, dans un secteur de niche mais qui est d'une importance capitale, puisque nous dépolluons les sols, les nappes phréatiques... Colas Environnement participe aussi à la reconversion des friches industrielles, dans le cadre de leur revitalisation pour permettre un nouvel usage, en phase avec l'objectif gouvernemental du « zéro artificialisation nette » en 2050.

Nous faisons face notamment à deux enjeux qui mobilisent nos efforts de R&D. L'optimisation de nos techniques pour augmenter notre compétitivité et baisser les coûts de traitement des friches, en particulier touchées par les hydrocarbures lourds. Et les polluants d'intérêt émergent et notamment les PFAS, des substances organiques de synthèse utilisées à des fins domestiques ou industrielles.

— Pourquoi cette collaboration avec le BRGM ?

A.P. — Pour répondre à ce double axe de recherche, le BRGM possède une palette de compétences suffisamment large, qui a permis de traiter les deux problématiques au sein du projet Concerto (lire *Traitement des polluants émergents : diminuer les concentrations de PFAS dans les eaux souterraines* page 34).

Nous avons déjà appris à nous connaître lors du projet BIOXYVAL (de 2017 à 2020) sur des solutions de gestion de pollutions complexes de friches industrielles puis sur MOBILMOUSSE dont l'objet est l'amélioration de la récupération des surnageants.

— Quel bilan peut-on tirer ?

A.P. — Nous travaillons en totale complémentarité : nous connaissons les marchés, le BRGM a l'expertise. Chacun apporte ses moyens financiers, humains et techniques. Il faut bien sûr citer la plateforme de recherche plurimétrique (PPM) du BRGM qui est un vrai atout. Ces moyens sont complétés par des financements publics et/ou industriels.

Référence scientifique sur les sites et sols pollués, le BRGM fait preuve d'une grande agilité en ayant la capacité de mobiliser très rapidement des experts dans de nombreux domaines transverses (biologie, hydrogéologie, chimie...). C'est un accélérateur de recherche pour Colas Environnement.

Ce partenariat est l'un des éléments qui permet à COLAS Environnement de rester à la pointe sur le marché de la dépollution *in situ* (sans excaver, à l'aide de puits généralement) et sur site (les matériaux sont excavés et traités sur le site), et ce grâce à la synergie entre l'expertise des chercheurs du BRGM et l'excellence opérationnelle de COLAS Environnement.

Un brevet concernant l'amélioration des biotertres, développé conjointement par le BRGM et COLAS, est en cours de dépôt. Et surtout, concernant les PFAS, la collaboration nous permet d'accéder à l'important projet européen Green Deal PROMISCES sur le développement de solutions innovantes pour éliminer les polluants persistants de l'environnement. ■

RESSOURCES MINÉRALES ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Sécuriser les approvisionnements en matières minérales dans un cadre d'économie circulaire

Salar d'Uyuni (Bolivie), désert de sel et plus grand gisement mondial de lithium.
© Fotolia - V. Melnik

L'accès aux matières minérales, indispensables à la transformation digitale et énergétique, constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour l'industrie et les pouvoirs publics. Et la crise sanitaire a mis en évidence la nécessité de sécuriser les chaînes d'approvisionnement en métaux et minéraux, qui s'appréhendent désormais dans un cadre d'économie circulaire afin de réduire les impacts environnementaux. Expert de la chaîne de valeur et de la modélisation du cycle de vie des matières minérales, le BRGM développe son expertise sur l'exploration des ressources primaires et l'innovation technologique pour leur traitement et leur recyclage. Il intervient notamment auprès des industriels pour répondre à leurs besoins de sécurisation des approvisionnements et leurs demandes de technologies écoresponsables.

3

1

1 — Examen de front de taille par un sédimentologue du BRGM - Carrière de pierre calcaire de « Sébastopol » (Lutétien moyen) à Saint-Vaast-les-Mello (Oise).
© BRGM - D. Dessandier

2 — Comparaison d'une pierre d'origine (« Banc Franc », Lutétien supérieur) de la cathédrale Notre-Dame de Paris et de pierres « neuves » de restauration (Calcaires à cérithes, Lutétien supérieur) issues de carrières actives de l'Oise.
© BRGM - D. Dessandier

3 — Mise en place par l'équipe BRGM d'une sonde de mesure des paramètres non conservatifs des eaux sur le site de Kevitsa (Finlande).
© BRGM

4 — 1re production de carbonate de lithium issu de saumures géothermales extraites dans le cadre du projet EuGeLi. Centre de R&D et d'innovation Eramet Ideas, décembre 2021.
© Eramet

2

4

Quand l'antimoine dans les quartz renseigne sur la minéralisation

Le BRGM a mis en évidence le potentiel important des concentrations en antimoine (Sb) et éléments-traces dans les quartz comme traceur des minéralisations. Les concentrations en Sb, obtenues par ablation laser couplée à la spectrométrie de masse, sont particulièrement élevées dans les quartz de cinq gisements riches en stibine (sulfure d'antimoine) du Massif central. Différents épisodes minéralisateurs ont également pu être clairement identifiés au sein d'un même gisement grâce au cortège d'éléments-traces présent dans les quartz.

EuGeLi : une première mondiale pour une éventuelle filière lithium européenne

Photo 4 / Du lithium « made in Europe » à partir de ressources locales : c'est l'ambition d'EuGeLi, un projet européen mené par Eramet et ses partenaires, dont le BRGM, autour de ce métal qui entre notamment dans la fabrication des batteries. Le résultat est prometteur : les premiers kilogrammes de carbonate de lithium de qualité batterie issus d'eau géothermale européenne ont été produits sur le site de Soultz-sous-Forêts, dans le Bas-Rhin. Il s'agit maintenant d'évaluer si un schéma compétitif de production de lithium pour les batteries en Europe, avec un impact carbone réduit, est possible à l'échelle industrielle, en complément d'une énergie renouvelable.

Savoir d'où vient l'or est désormais possible

Dans le cadre de ses travaux sur la traçabilité de l'or, le BRGM a développé une approche innovante, principalement sur des grains d'or primaires, éluvionnaires et alluvionnaires de la Guyane française. Il est ainsi parvenu à identifier l'or amalgamé – illicite – par analyse du mercure, *via* des appareils de mesure portables, et à distinguer chacune des exploitations légales testées par une signature géochimique propre, couplée au besoin à la caractérisation du cortège de micro-inclusions minérales.

Quelles pierres pour restaurer Notre-Dame de Paris ?

Photos 1 et 2 / La restauration de la cathédrale Notre-Dame de Paris, lourdement endommagée par un incendie en avril 2019, nécessite des pierres « neuves », compatibles avec celles d'origine et disponibles dans des quantités sans commune mesure avec les travaux d'entretien réalisés d'ordinaire sur les monuments historiques. Pour répondre à ce besoin, l'établissement public chargé de la conservation et de la restauration de la cathédrale et le BRGM ont mené un programme de R&D visant à identifier, caractériser et sélectionner des pierres issues de carrières actives, esthétiquement et physiquement compatibles. Ces recherches ont abouti à la réalisation d'un guide de sélection des pierres de restauration de Notre-Dame de Paris.

Iterams : des outils nouveaux pour optimiser les activités minières

Photo 3 / Le projet H2020 Iterams, qui visait à améliorer le recyclage de l'eau et la valorisation des résidus dans les activités minières, a pris fin en 2021. Dans ce cadre, le BRGM a développé un outil d'évaluation du potentiel de géopolymérisation des fractions stériles. Il a également mis au point des sondes électrochimiques innovantes pour mesurer en ligne les paramètres non conservatifs des eaux. Il a enfin élaboré une méthode d'évaluation des impacts environnementaux des bassins de stockage des résidus miniers dont les résultats, propres au site, sont plus précis qu'avec l'approche générique conventionnelle.

Valomag : les terres rares extraites des aimants de la mine urbaine

Initié en 2019, le projet Valomag a pour objectif de récupérer des aimants contenus dans la mine urbaine (déchets éléctriques et électroniques) pour la production de nouveaux aimants ou l'extraction des terres rares. Le BRGM a développé à l'échelle pilote un procédé mécanique innovant, appliqué aux disques durs usagés. Le taux de récupération des aimants proche de 90 %, conjugué à une pureté de 88 %, rend possibles différentes valorisations, dont l'extraction des terres rares par voie hydrométallurgique. Élaboré par le BRGM, ce procédé novateur et écocompatible permet de produire des oxydes de didymium et de dysprosium, aux nombreux débouchés industriels. Un brevet est en cours de dépôt.

Nicolas Charles
Géologue, expert des ressources minérales

Sébastien Colin
Géologue, expert des géomatériaux

Anne-Sophie Serrand
Géologue, experte des ressources minérales

Gaëtan Lefebvre
Expert en intelligence minérale

Des réponses pragmatiques aux problématiques spécifiques des industriels

Fort d'une connaissance géologique reconnue mais aussi d'une expertise solide sur toute la chaîne de valeur des ressources minérales, le BRGM met ses compétences en application pour apporter des réponses concrètes aux problématiques des industriels qui, en plus de la sécurisation de leurs approvisionnements, s'interrogent de plus en plus sur leur écoresponsabilité.

La consommation croissante et de plus en plus diversifiée des matières premières minérales par les industriels les conduit à rechercher des solutions pour sécuriser leur chaîne d'approvisionnement mais aussi responsabiliser cette utilisation. Identifier une substance possédant des fonctions spécifiques, trouver de nouveaux gisements, en évaluer un en particulier… À ces demandes adressées fréquemment au BRGM s'en ajoutent aujourd'hui de nouvelles : *« La rationalisation des ressources, c'est-à-dire l'optimisation de l'extraction et de l'exploitation de la substance et de ses potentiels sous-produits,* indique Sébastien Colin, géologue spécialiste des géomatériaux. *Les industriels sont aussi de plus en plus préoccupés par les enjeux environnementaux et sociétaux des ressources minérales qu'ils utilisent, ce qui peut aller jusqu'à la recherche de substituts et la réorientation de leur consommation. »*

Des rendus à la fois scientifiques et pédagogiques

Conjuguant une connaissance en géologie et en économie des ressources minérales, le BRGM est en capacité de répondre aux problématiques des industriels, de l'amont jusqu'à l'aval de la chaîne de valeur. *« Nous montons une équipe pluridisciplinaire sur mesure, adaptée à la demande »*, souligne Nicolas Charles, géologue et chef de projet. Une dizaine de projets, d'une durée variable et évolutifs dans le temps, sont ainsi menés chaque année. *« Notre statut d'établissement public scientifique apporte une caution à nos travaux, solides et étayés, et en garantit l'indépendance,* poursuit Nicolas Charles. *Nous respectons également, au moyen de protocoles stricts, la confidentialité des données que nous traitons et des résultats que nous produisons. »*

Les livrables sont variés : estimation du potentiel géologique et minier, panorama de substances, analyses chimiques ou minéralogiques, base de données, liste de recommandations, étude de filières, développements méthodologiques… *« Nos projets, nos présentations et nos livrables sont conçus et réalisés de sorte à répondre de façon précise et compréhensible à la problématique posée »*, souligne Sébastien Colin. C'est là le défi de ces missions : produire des rendus à la fois scientifiques et pédagogiques, directement utilisables par les clients.

Une navigation plus intuitive

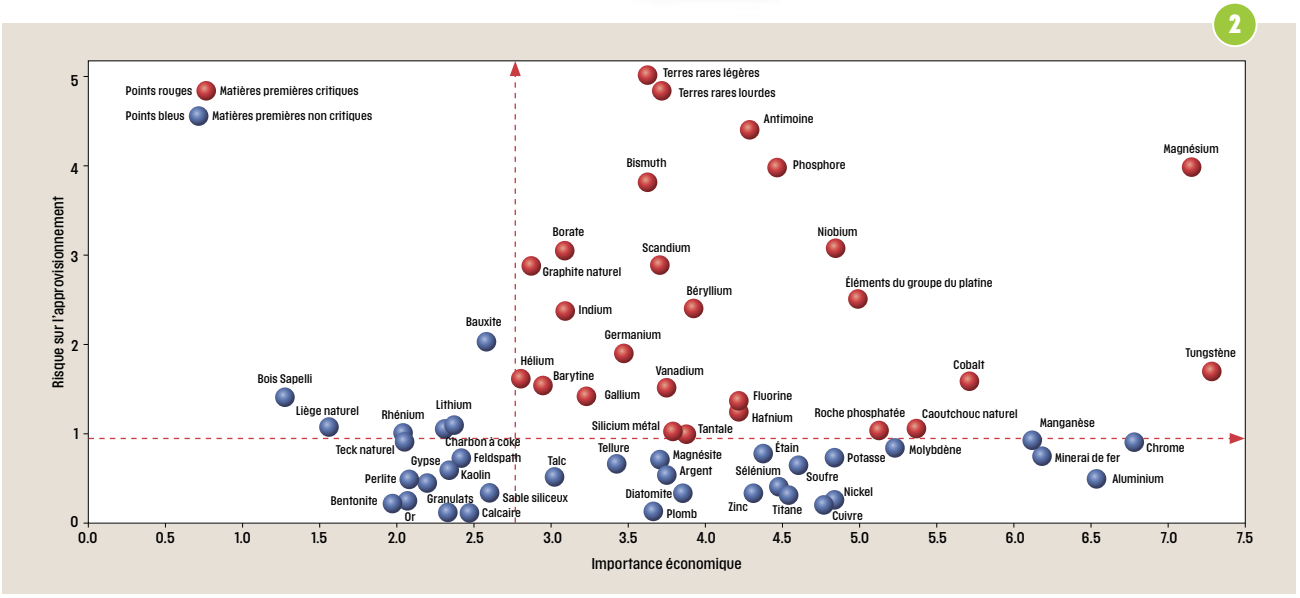
C'est également l'objectif de Minéralinfo. Lancé en 2014 et co-géré par le bureau de la Politique des ressources minérales non énergétiques (ministère de la Transition écologique) et le BRGM, le portail français des ressources minérales non énergétiques (métaux, minéraux industriels et matériaux de construction) diffuse des informations clés aux acteurs institutionnels et économiques ainsi qu'au grand public. Une nouvelle version, fruit d'une collaboration entre la direction des Géoressources et la direction des Infrastructures et Services numériques de l'établissement public, a été mise en ligne le 18 octobre 2021. *« Un audit avait été réalisé en 2019 ainsi que des ateliers avec les différentes catégories d'utilisateurs,* indique Anne-Sophie Serrand, géologue des ressources minérales et cheffe de projet. *Ce travail a permis d'identifier leurs attentes et les améliorations à apporter. »*

Fonctionnant désormais sur tous les écrans, ordinateur, tablette, smartphone, le nouveau Minéralinfo dispose d'une architecture plus lisible qui offre une navigation plus intuitive facilitant la consultation. *« Nous avons également réécrit et enrichi les contenus pour les rendre plus accessibles à tous, initiés ou non »*, explique Anne-Sophie Serrand. Le site couvre plusieurs thématiques : les ressources minérales en France et leur gestion ; la sécurité des approvisionnements pour l'économie ; l'approvisionnement responsable ; le recyclage et l'économie circulaire ; la recherche, l'innovation et la formation. Diverses ressources et données sur les matières premières et leur environnement naturel et réglementaire y sont proposées : les articles Écomine présentent des analyses et des revues des marchés de métaux stratégiques, des fiches de criticité des matières premières, des mémentos sur les roches et les minéraux industriels, les schémas régionaux des carrières… La fréquentation de Minéralinfo a enregistré un pic lors du lancement de la nouvelle version, avant de se stabiliser à un niveau élevé. Un premier retour d'expérience est attendu dès 2022. *« Le comité éditorial du site travaille à une évolution de la présentation des contenus vers plus de pédagogie, afin de faciliter leur compréhension et leur appropriation par les utilisateurs »*, annonce Anne-Sophie Serrand. ■

1 — Le nouveau site Minéralinfo est désormais accessible sur tous les écrans et dispose de contenus enrichis et plus accessibles.
© BRGM

2 — Matières minérales critiques pour l'Union européenne.
© Commission européenne (2020)

3 — Carrière d'andalousite à Glomel exploitée par IMERYS (Côtes d'Armor).
© BRGM - N. Charles



Traitement par électrolyse pour l'obtention de cuivre purifié. La demande en cuivre sera multipliée par deux à l'horizon 2030.
© Getty Images

L'interview partenaire

Philippe Varin

Ex. Vice-Président du conseil national de l'Industrie et président de France Industrie, président du conseil d'administration de Suez. Auteur du rapport Varin sur les ressources minérales

« Dans un contexte de tension sur les matières premières minérales stratégiques, le BRGM revêt une importance particulière et son rôle sera clé. »

— Dans votre rapport sur les ressources minérales, vous mettez en lumière la rupture qui se profile…

PHILIPPE VARIN — Ce monde qui change, ce « monde d'après » que je décrirai comme pauvre en carbone et très riche en métaux, où les matières premières minérales seront un enjeu pour la transition énergétique, se caractérisera par de nouvelles tensions géopolitiques liées à l'approvisionnement en métaux critiques. Nous passerons d'un monde régi par les acteurs du pétrole à une géopolitique marquée par la confrontation USA-Chine sur l'accès aux métaux.

Nous connaîtrons également une croissance exponentielle des besoins, multipliés, à l'horizon 2030 par deux pour le cuivre, trois pour le nickel, quatre pour le lithium, métaux critiques pour les batteries ! Le risque de pénurie est important.

Il est nécessaire de sécuriser l'accès à ces matières premières, d'aider à localiser leur transformation sur le sol français, mais également d'élaborer de nouvelles réglementations.

— Quel est l'apport du BRGM dans ce contexte ?

P.V. — Le BRGM revêt une importance particulière. Il est même essentiel, doté d'un potentiel important et je suis convaincu que son rôle sera clé.

Compte tenu de la situation de l'Europe sur l'extraction de matières premières, il faut aller à l'international, augmenter les capacités de nos sociétés minières. Le BRGM sera donc un acteur majeur pour orienter la sécurisation de l'approvisionnement en matières minérales stratégiques, en s'appuyant tout naturellement sur nos compétences minières renforcées.

L'Europe doit aussi se doter de fonds d'investissements et d'une véritable diplomatie des métaux. Piloté par le BRGM en liaison avec les opérateurs miniers français, l'Observatoire des métaux critiques, qui vient d'être décidé par l'État, sera un outil indispensable. C'est une occasion unique de mettre au travail toutes les données issues du BRGM.

— Et concernant la localisation et la réglementation ?

P.V. — La transformation est une activité à très forte valeur ajoutée. Concernant les batteries, un écosystème proche des gigafactories est proposé à Dunkerque. Pour les aimants, le recyclage, qui remplirait 20 % des besoins, pourrait se faire à Lacq.

Mais en plus des plateformes industrielles il faut des feuilles de route pour la R&D et les compétences : le BRGM sera associé à leur élaboration et leur suivi et contribuera ainsi à notre montée en compétences sur la chimie des batteries et la métallurgie des aimants.

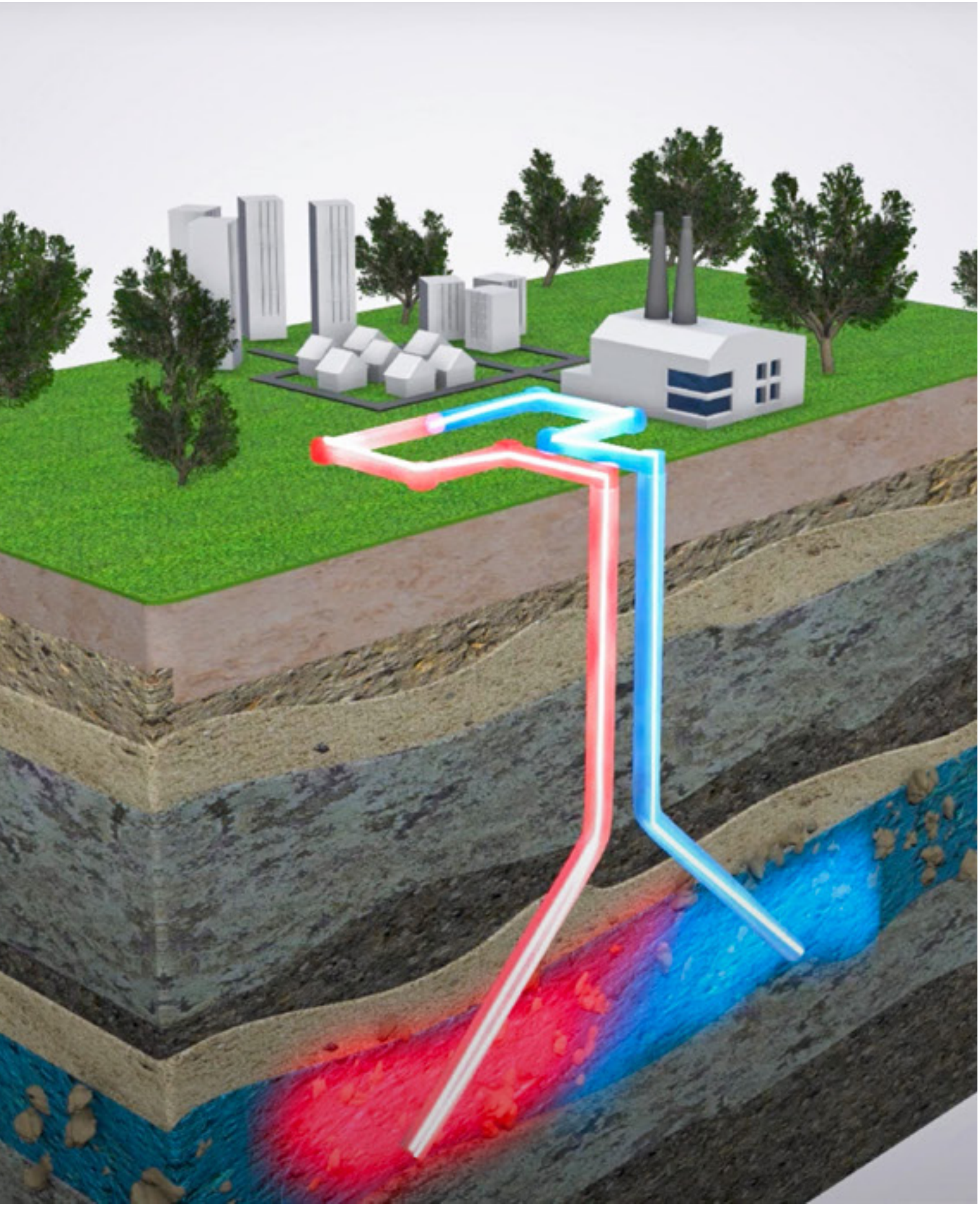
Enfin, la réglementation est un gros enjeu. L'Union européenne met en place un règlement batteries, un passeport empreinte CO_2 et travaille sur la mine responsable. Pour cette dernière, il faut définir un référentiel : le BRGM, spécialiste de la mine responsable, sera précieux en conseil et en évaluation.

Je fais totalement confiance à l'équipe de management du BRGM pour assumer ces rôles essentiels. ■

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET ESPACE SOUTERRAIN

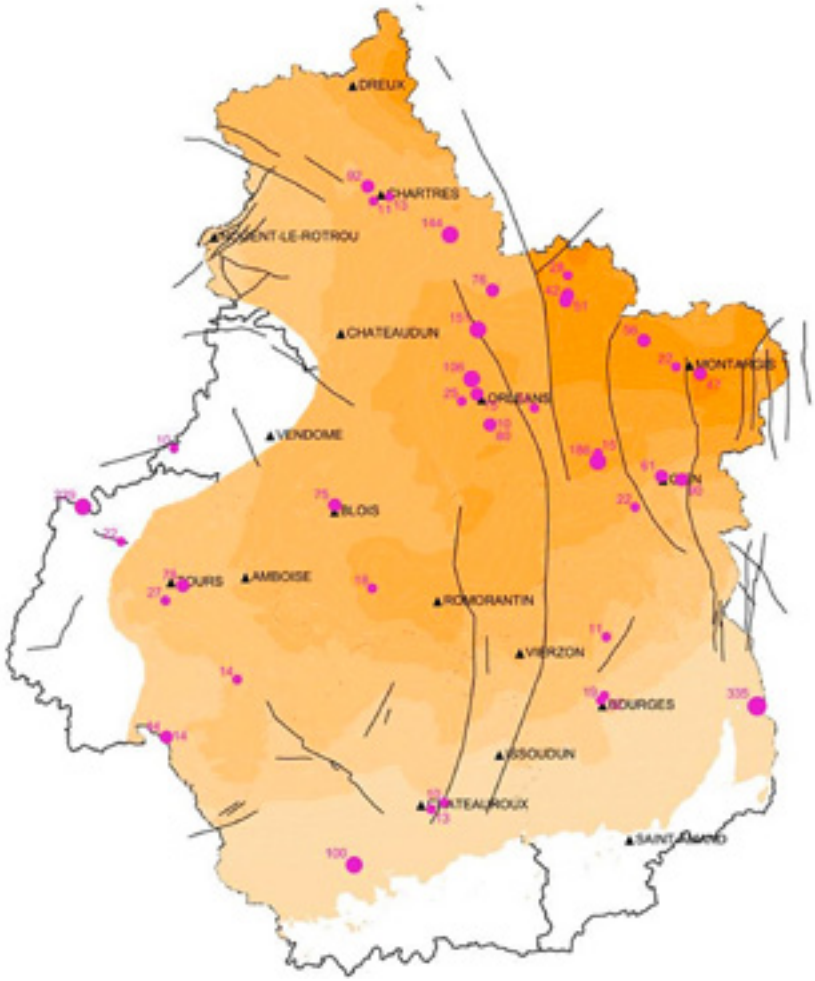
Mobiliser les propriétés du sous-sol pour aller vers la neutralité carbone

Dans un système de doublet géothermique, l'eau chaude pompée peut alimenter un réseau de chaleur pour chauffer des habitations ou des bâtiments, tandis que l'eau refroidie est réinjectée dans le même réservoir *via* un second puits.
© BRGM



Le sous-sol peut contribuer significativement à la transition énergétique, qui implique des sources d'énergie plus diversifiées, renouvelables et décarbonées. De par ses ressources et ses propriétés, il peut participer à la production et au stockage d'énergie ainsi qu'à la réduction des émissions de gaz à effet de serre par la capture et le stockage de CO_2. Il offre également un espace de confinement pour les déchets radioactifs. Développant sa recherche et son expertise autour de ces perspectives, le BRGM intervient notamment à l'échelle des territoires pour explorer, étudier et exploiter le potentiel de l'espace souterrain. Il favorise ainsi la mise en œuvre de dispositifs économiquement viables et à faible impact environnemental.

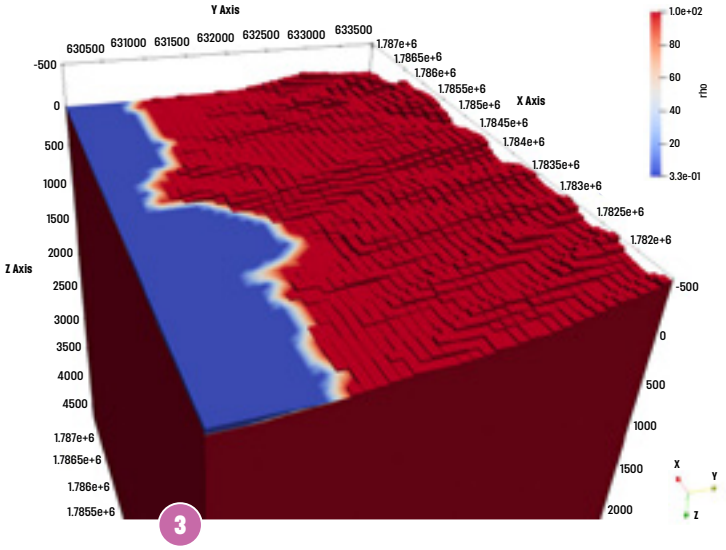
1



2

Émission de CO_2 en 2017
- < 40 kt/an
- de 40 à < 100 kt/an
- de 100 à < 250 kt/an
- >= 250 kt/an

Température du Dogger
- < 30 °C
- de 30 à < 35 °C
- de 35 à < 40 °C
- de 40 à < 45 °C
- de 45 à < 50 °C
- de 50 à < 55 °C
- de 55 à < 60 °C
- >= 60 °C



3

1 — Mesures de flux de gaz du sol dans les environs de la Fontaine Ardente du Gua (Isère), émanation naturelle de méthane et CO_2 connue depuis l'antiquité et utilisée dans le projet SECURe comme analogue naturel pour développer des mesures de surveillance.
© BRGM - W. Kloppmann

2 — Carte extraite du Système d'information géographique réalisée dans le cadre du projet GEOCO₂ montrant les températures de la ressource géothermale dans l'aquifère du Dogger et la localisation des émetteurs industriels de la région Centre-Val de Loire. Les chiffres à côté des ronds roses indiquent la quantité annuelle de CO_2 émis (en milliers de tonnes par an).
© BRGM

3 — Discrétisation de la résistivité électrique (ohm.m) de la zone d'étude de Bouillante, Guadeloupe par la méthode des différences finies afin de modéliser les données électromagnétiques CSEM et MT acquises sur place. Notre modèle tient compte des variations de topographie ainsi que de la présence de la mer qui impactent considérablement le comportement des ondes EM dans le milieu.
© BRGM

Comment utiliser les données Minergies pour l'exploration géothermique ?

Le BRGM a réalisé sur le Dogger du Bassin parisien une interprétation quantitative des données de sismique réflexion et de puits existants. Il s'agissait de définir une méthodologie, assortie de recommandations, pour l'utilisation de ces données dans le but de contraindre les caractéristiques pétrophysiques du réservoir situé entre les puits. Les résultats, obtenus suivant deux approches distinctes, sont encourageants et valident la méthodologie pour dérisquer les projets géothermiques, à faible coût.

Mieux connaître les réservoirs géothermiques en contexte volcanique insulaire

Photo 3 / Initié par la région Guadeloupe, le projet Transition énergétique dans la Caraïbe (TEC) lancé en 2019 instaure une coopération active en matière de maîtrise de l'énergie et de développement de la géothermie dans cette région. Contribuant à la création d'un centre d'excellence de géothermie caraïbéen, le BRGM développe des méthodes d'exploration adaptées aux spécificités locales afin d'identifier, de caractériser et de modéliser les réservoirs géothermiques.

Bonnes pratiques pour la surveillance environnementale des exploitations du sous-sol

Photo 1 / Achevé en 2021, le projet H2020 Secure a permis de livrer des recommandations pour une bonne gestion du risque des stockages de CO_2 et des exploitations non conventionnelles d'hydrocarbures. La contribution du BRGM portait sur le référentiel environnemental (baseline) d'un site, indispensable à toute stratégie de surveillance. Associant des développements méthodologiques, métrologiques et des traitements statistiques avancés, ses travaux ont permis de définir des critères robustes et dynamiques pour discriminer les variations attendues des paramètres physicochimiques des potentielles irrégularités.

Nouveau : un observatoire dynamique de la géothermie de surface

Accessible depuis fin 2021 sur le site www.geothermies.fr, l'observatoire de la géothermie de surface donne accès aux principales caractéristiques des installations et aux données techniques des ouvrages qui les composent. Adossé à la banque de données du sous-sol (BSS), l'inventaire est alimenté en continu par les télédéclarations de géothermie de minime importance (GMI) et complété, pour les données plus anciennes, avec le concours de l'Association française des professionnels de la géothermie (AFPG) et des acteurs de la filière.

Un film pour sensibiliser aux atouts de la géothermie profonde

L'Ademe et le BRGM ont produit en 2021 une vidéo à destination des collectivités territoriales et du grand public qui met en avant les atouts de la géothermie profonde. Diffusée sur le site www.geothermies.fr et la chaîne YouTube du BRGM, ce film de 3 minutes mêle animations graphiques et images réelles. Il donne lieu notamment à un dialogue intergénérationnel sur une énergie durable dont la première installation remonte aux années 1970 soulignant ainsi la maturité de ces solutions d'avenir.

Quelles perspectives pour le couplage entre stockage du CO_2 et géothermie en Centre-Val de Loire ?

Photo 2 / Développé par le BRGM, le concept CO_2-Dissolved consiste à stocker le CO_2 d'origine industrielle sous forme dissoute dans l'eau d'un réservoir souterrain et à valoriser économiquement l'opération par la récupération de chaleur géothermique. Financé par la région Centre-Val de Loire, le projet GeoCO₂ consistait à évaluer le potentiel de cette solution sur le territoire régional. Il a conclu à la faisabilité de réaliser un démonstrateur industriel CO_2-Dissolved sous trois à cinq ans. La région pourra ainsi informer et mobiliser les acteurs industriels, notamment les petits émetteurs de CO_2, en s'appuyant sur ces résultats.

BioREP : une plateforme expérimentale de plus en plus utilisée

Reconnue au niveau international, la plateforme BioREP (Bioréacteurs pour environnement profond) permet d'étudier les milieux profonds et de caractériser les processus biogéochimiques naturels et les procédés industriels qui y prennent place. Enrichie notamment de trois nouveaux dispositifs et de divers modules depuis sa création en 2008, BioREP est impliquée dans des projets de plus en plus nombreux, en lien avec les énergies mais aussi la ressource en eau et les risques naturels. En 2021, une collaboration a été initiée avec l'Ifremer dans le cadre du suivi biogéochimique d'échantillons de fluides magmatiques au large de Mayotte.

Timothée Dupaigne
Hydrogéologue régional Île-de-France, chef de projet Banque du sous-sol

Charles Maragna
Ingénieur de recherche en géothermie

Le Grand Paris, avec l'appui du BRGM, mise sur la géothermie de surface

Comment les ressources du sous-sol de la Métropole du Grand Paris peuvent-elles contribuer à répondre à la demande énergétique liée au chauffage et au rafraîchissement des bâtiments ? Le BRGM a été chargé de réaliser cette estimation en identifiant les zones favorables à la géothermie de surface et évaluant la quantité de chaleur pouvant être extraite. Cette étude a permis d'améliorer les connaissances dans ce domaine et de produire des outils d'aide à la décision.

On sait le potentiel calorifique du sous-sol de la région parisienne considérable. Et la Métropole du Grand Paris, qui a adopté son plan Climat-Air-Énergie en 2018, entend l'exploiter pour des projets de géothermie de surface (moins de 200 mètres de profondeur) permettant de chauffer ou de rafraîchir des bâtiments. Aussi la collectivité a-t-elle fait appel au BRGM en 2020 pour évaluer précisément la possible contribution de ces ressources souterraines aux besoins énergétiques du territoire et disposer d'outils favorisant le déploiement de cette énergie renouvelable. *« L'Île-de-France compte plus de 500 installations de géothermie de surface,* indique Timothée Dupaigne, hydrogéologue régional. *On peut encore largement développer cette énergie verte, qui présente l'avantage d'être locale et indépendante des aléas climatiques, donc disponible partout et de façon permanente. »*

La Banque du sous-sol complétée

Les géologues et géothermiciens du BRGM ont procédé à la parcelle pour évaluer les apports potentiels du sous-sol *via* deux techniques : les échangeurs verticaux, qui font circuler un fluide dans des sondes enfouies dans le sous-sol pour en récupérer la chaleur ou la fraîcheur ; et les doublets, qui exploitent directement les calories des nappes d'eau contenues dans les roches du Lutétien, de l'Yprésien-Cuisien et dans la craie. L'équipe s'appuie pour cela sur la Banque du sous-sol (BSS), la base de données nationale sur les ouvrages souterrains gérée par le BRGM, dont elle complète le volet géothermie de surface avec les opérations réalisées ces dernières années. Le projet a également permis d'actualiser les connaissances des aquifères de proche surface.

« Sur chaque parcelle, nous avons croisé les ressources géothermiques du proche sous-sol avec le foncier disponible pour l'implantation des forages, afin d'évaluer la quantité d'énergie qui pourrait être extraite », décrit Charles Maragna, ingénieur de recherche en géothermie. Les résultats sont ensuite agrégés à différents niveaux, sur chacune des 2 861 mailles IRIS (entités définies par l'Insee) qui couvrent le territoire métropolitain, puis sur chacune des 131 communes et chacun des 12 établissements publics territoriaux (EPT) du Grand Paris et, enfin, à l'ensemble de la Métropole. *« Nous avons réalisé des cartographies du potentiel de géothermie de surface à toutes ces échelles »*, indique Charles Maragna.

Il ne reste plus qu'à comparer ces évaluations avec les besoins énergétiques liés au chauffage, à la production d'eau chaude sanitaire, à la climatisation et au rafraîchissement des bâtiments, essentiellement tertiaires et d'habitation, implantés sur la métropole. Soit une consommation annuelle estimée à 50,94 TWh. *« La géothermie de surface pourrait en couvrir 58 %,* avance Timothée Dupaigne, *et, afin de décarboner la production de chaleur, remplacer environ 25 % des consommations de chauffage au gaz, après avoir raccordé en priorité les bâtiments aux réseaux de chaleur existants. »*

7 bonnes raisons de choisir la géothermie

Menée avec l'appui de l'Ademe et en partenariat avec l'Atelier parisien d'urbanisme (Apur), cette mission a également conduit à la mise en place d'une interface cartographique permettant, à l'échelle souhaitée, de visualiser l'emplacement des forages et des sondes géothermiques existants. Mis à jour en temps réel, ce service est disponible gratuitement sur le site geothermies.fr géré par le BRGM, et complété par un rapport méthodologique. *« Ces outils sont précieux pour les professionnels de la géothermie mais surtout pour les collectivités,* souligne Timothée Dupaigne. *Ils constituent une aide à la décision pour définir un mix énergétique incluant la géothermie. »*

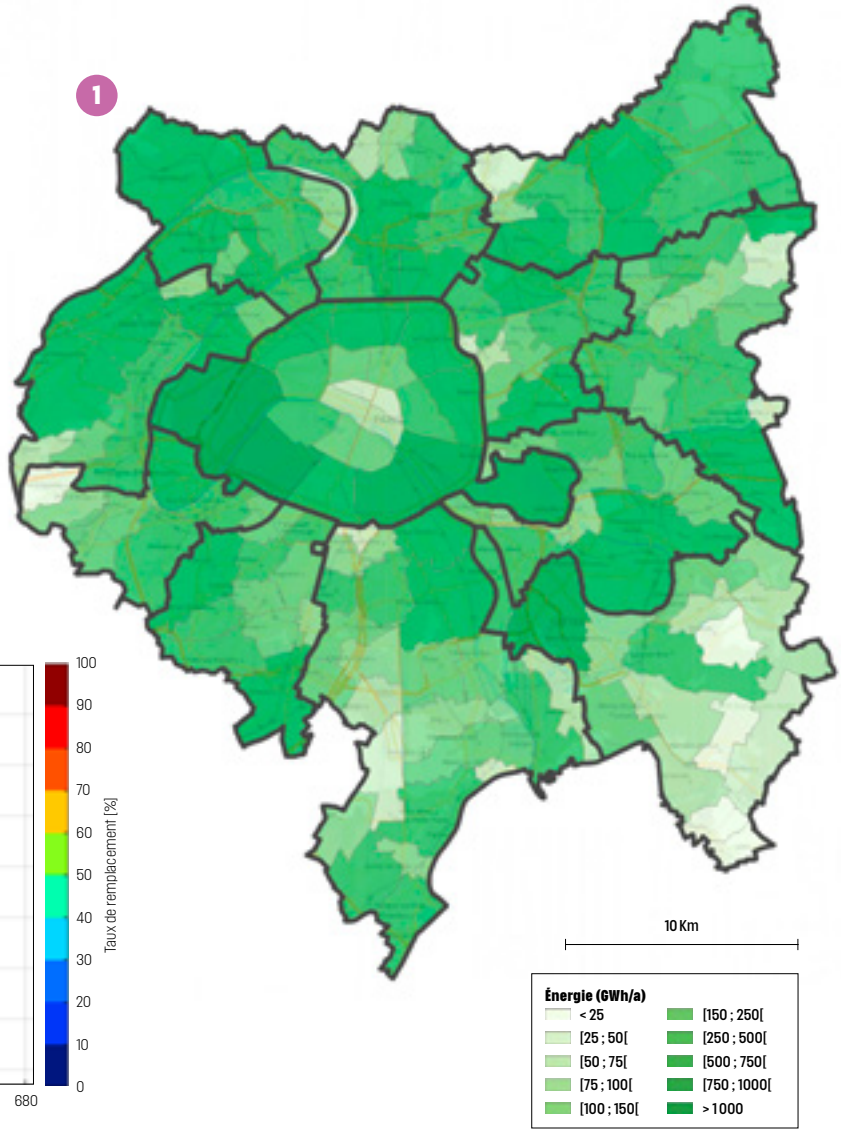
Le BRGM participe enfin à la promotion de la géothermie de surface auprès des acteurs locaux, à travers la réalisation et la diffusion du guide *7 bonnes raisons de choisir la géothermie pour la Métropole du Grand Paris*. Aux sept arguments qui y sont développés s'ajoutent onze témoignages sur des projets réussis. *« Cet ouvrage est une sorte de vitrine de la géothermie de surface, dans un objectif de vulgarisation et de sensibilisation des maîtres d'ouvrage. »* Le projet avec la Métropole du Grand Paris a enfin servi de catalyseur à la création d'un Observatoire national de la géothermie de surface, en collaboration avec l'Ademe. ■

1 — Énergie que peut fournir la géothermie en chauffage sur chaque commune en GWh par an.
© BRGM

2 — Contribution de la géothermie de surface en remplacement du gaz.
© BRGM

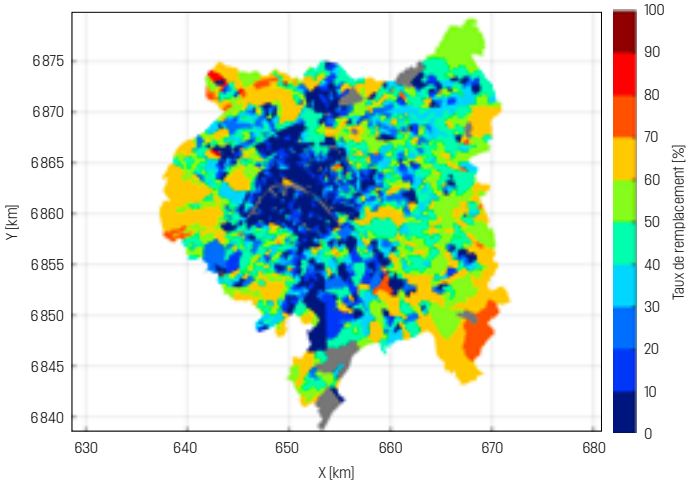
3 — La brochure présente les nombreux avantages de la géothermie de surface pour la Métropole du Grand Paris.
© BRGM

1

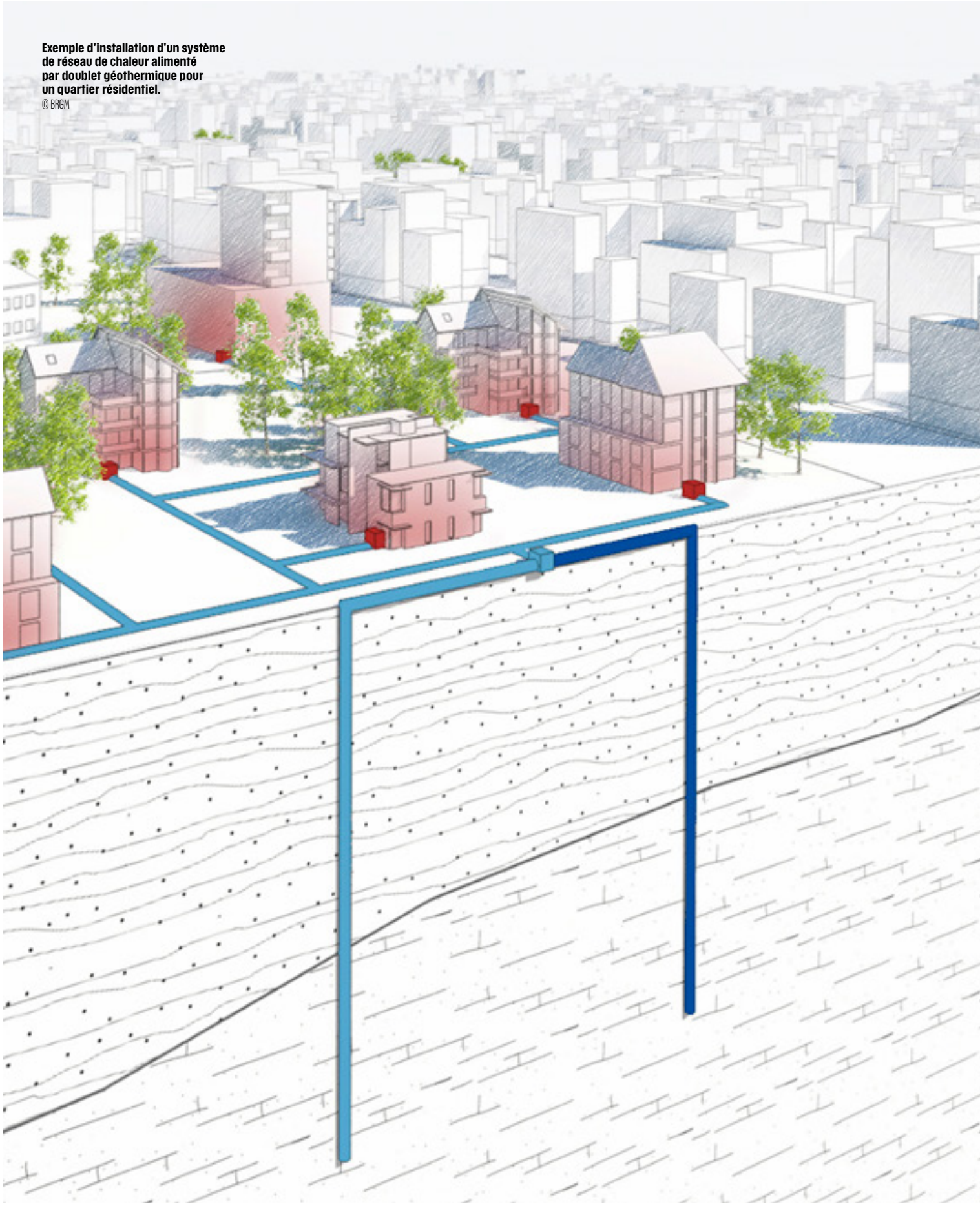


2

Contribution de la géothermie de suface au remplacement du gaz priorité aux réseaux de chaleur avec extension de 50 m



3



Exemple d'installation d'un système de réseau de chaleur alimenté par doublet géothermique pour un quartier résidentiel.
© BRGM

L'interview partenaire

Daniel Guiraud

Vice-Président Métropole du Grand Paris

« Les travaux réalisés avec le BRGM ont permis de confirmer et affiner nos connaissances sur le potentiel de géothermie sur le territoire, fer de lance de la production de chaleur renouvelable métropolitaine. »

— Quels sont les enjeux scientifiques et technologiques dans le cadre du plan Climat-Air-Énergie métropolitain ?

DANIEL GUIRAUD — Ce *Plan*, adopté le 12 novembre 2018 par le Conseil Métropolitain, propose une ambition articulée autour de trois objectifs stratégiques et opérationnels : atteindre la neutralité carbone à 2050, c'est-à-dire zéro émission nette en alignement avec l'Accord de Paris ; réduire massivement les consommations énergétiques finales (-50 % en 2050 par rapport à 2005) et enfin obtenir un mix énergétique diversifié et décarboné, en portant, d'ici 2050, à 60 % la part des énergies renouvelables et de récupération dans la consommation d'énergie. Le développement d'une filière telle que la géothermie de surface s'inscrit pleinement dans ces objectifs de transition énergétique.

— Où en est le diagnostic sur le potentiel de la géothermie de surface sur le territoire de la Métropole du Grand Paris ?

D.G. — Bien que le développement de la filière géothermie soit souhaitée et souhaitable au regard des ambitions portées par la Métropole, seule une fraction des ressources géothermiques du territoire est actuellement exploitée. 1 000 GWh (1 TWh) aujourd'hui seulement, alors que l'étude réalisée par le BRGM va démontrer un potentiel de la seule géothermie de surface 30 fois supérieur (29,75 TWh par an) à la totalité de l'énergie géothermique actuellement exploitée.

Le BRGM nous a accompagné dans le développement d'outils adéquats : des outils de communication adaptés ainsi qu'un diagnostic précis établissant le potentiel de développement de la géothermie de surface sur le territoire de la Métropole du Grand Paris.

— Quelques mots sur les programmes ?

D.G. — En partenariat avec l'ADEME et le BRGM, la Métropole du Grand Paris a souhaité développer des outils visant à mettre en valeur cette solution parfois mal appréhendée. Le programme d'étude s'inscrit dans le cadre de la Convention signée en date du 16 mars 2020 entre le BRGM et la Métropole. Il comporte deux phases principales : établir un argumentaire sur la géothermie de surface (0-200 m), et mener une étude du potentiel de développement de la géothermie de surface sur le territoire de la Métropole du Grand Paris.

— Quel bilan peut-on tirer de la collaboration ?

D.G. — Les travaux réalisés avec le BRGM ont permis de confirmer et affiner nos connaissances sur le potentiel de géothermie sur le territoire, fer de lance de la production de chaleur renouvelable métropolitaine.

Ces travaux seront intégrés à notre schéma directeur énergétique actuellement en cours d'élaboration. Les diagnostics technique et stratégique ont été finalisés au cours de l'été 2021, et le projet en est actuellement à sa phase de concertation des acteurs. Une première version de schéma directeur énergétique sera présentée au Conseil Métropolitain du mois d'avril 2022. ■

DONNÉES, SERVICES ET INFRASTRUCTURES NUMÉRIQUES

Des solutions performantes pour des données géo-environnementales fiables et ouvertes

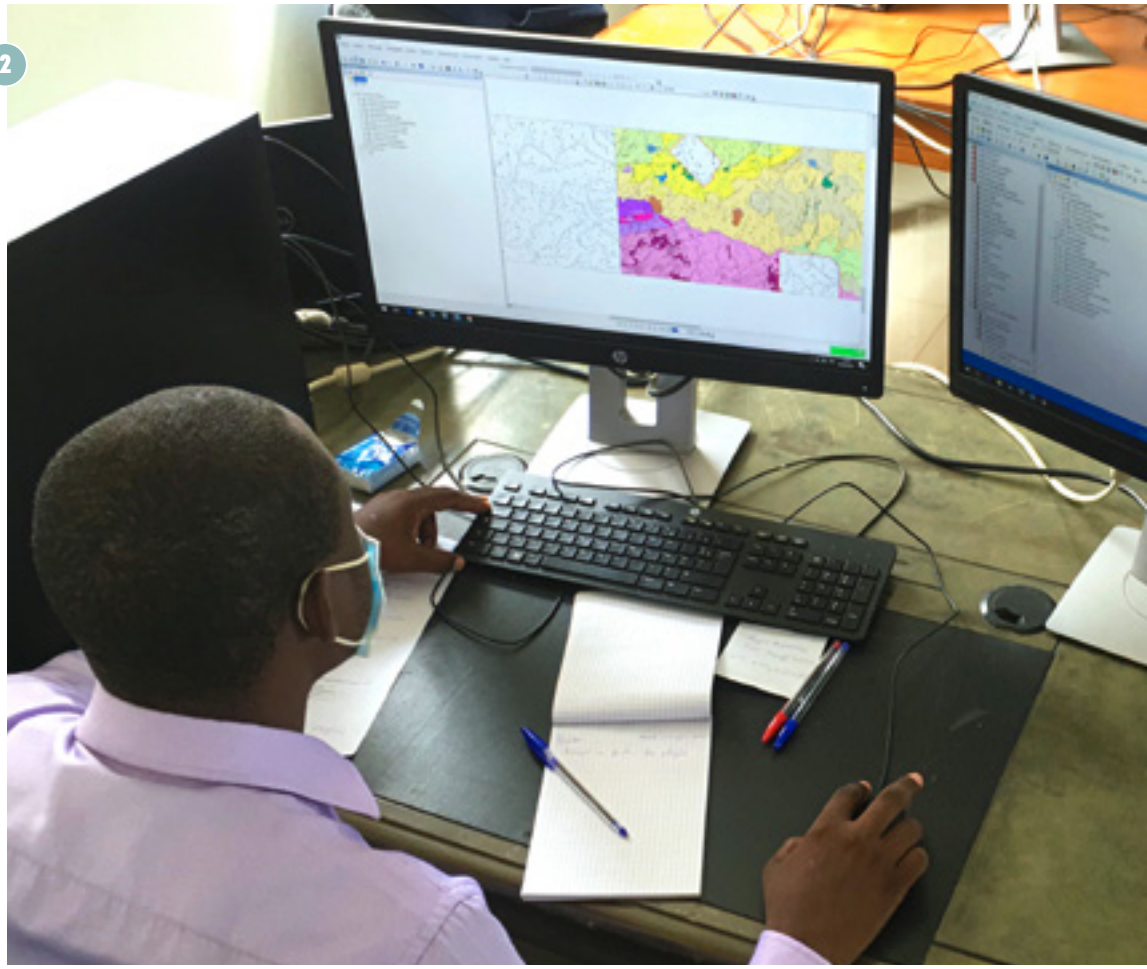
Le BRGM développe de nombreux outils et services numériques pour rendre utiles et accessibles des données géoscientifiques en réponses aux problématiques de changement global.
© BRGM

Le portail français des ressources minérales
Mieux connaître les risques
Connaître les risques
Renseigner

Le BRGM développe des infrastructures et des services numériques à la croisée des sciences de l'environnement, de la Terre et des données, qui donnent accès à une information fiable et pérenne sur le sous-sol et l'environnement. Il met ainsi à disposition les connaissances nécessaires pour répondre aux problématiques liées au changement climatique, à la gestion des ressources et à la maîtrise des risques. Ces outils numériques permettent de structurer, diffuser et exploiter des données d'origines diverses et hétérogènes. Conçus dans une démarche de science ouverte, ils constituent une référence sur l'état et les propriétés du sol, du sous-sol, de ses ressources et les risques associés.

1

2



1 — Le site RNDTS est un nouvel outil de télédéclaration, dont le développement a été confié au BRGM, dédié à la traçabilité des déchets, sédiments et terres excavées.
© BRGM

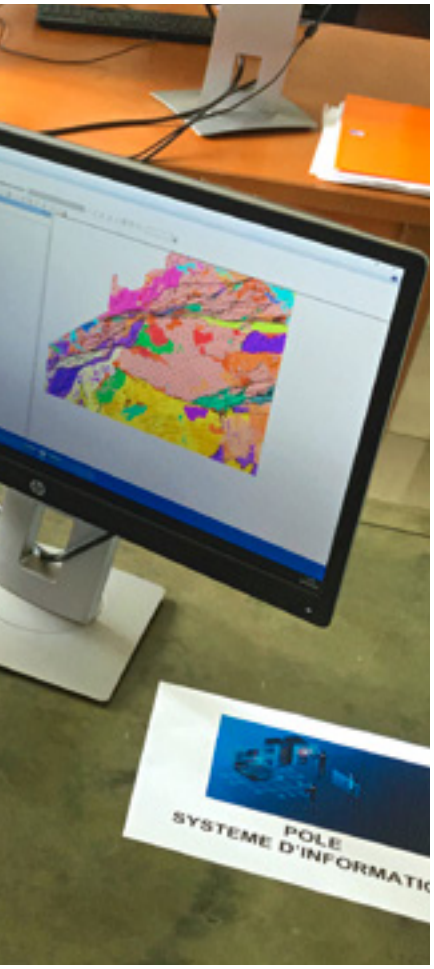
2 — Le système d'informations géologiques et minières du Cameroun est une plateforme interactive de consultation de données. Lors de sa mise en place, six personnes ont été formées à son utilisation.
© BRGM

3 — La plateforme Vigirisks a pour but d'anticiper et d'estimer rapidement les dommages lors d'un événement naturel. Elle permet à l'utilisateur de programmer plusieurs paramètres afin de générer des scénarios d'aléas et de risques variables.
© BRGM

3

Dématérialisation du Registre national des déchets, terres excavées et sédiments

Photo 1 / Dans le but de renforcer la traçabilité, la prévention et la gestion des déchets, le ministère de la Transition écologique a confié au BRGM la dématérialisation du Registre national des déchets, terres excavées et sédiments (RNDTS). Le BRGM a développé une application de saisie et d'enregistrement des déclarations, ainsi qu'un site éditorial d'accompagnement et un support mail aux usagers. L'architecture technique est prévue pour répondre à de fortes sollicitations : des milliers de connexions simultanées et le stockage de plusieurs dizaines de millions de déclarations. En ligne depuis début janvier 2022. https://rndts-diffusion.developpement-durable.gouv.fr/fr



Pollution des sols : publication de la CASIAS dans Géorisques

La Carte des anciens sites Industriels et activités de service (CASIAS) a été publiée dans Géorisques, le portail du BRGM sur les risques naturels et technologiques. La CASIAS a été constituée à partir de la Base des anciens sites industriels et activités de service (BASIAS) au sein d'un nouveau système de gestion mis en œuvre par le BRGM, en cohérence avec les données techniques et réglementaires gérées par les services de l'État (ex-BASOL, SIS). Parmi les objectifs : améliorer la géolocalisation, en particulier l'emprise surfacique à l'échelle de la parcelle cadastrale.

Un système d'informations géologiques et minières pour le Cameroun

Photo 2 / Un SIGM (Système d' informations géologiques et minières) diffuse désormais les résultats du programme de cartographie géologique et géochimique du Cameroun.

La base consultable sur cette plateforme interactive couvre un large éventail de données : géologiques, géochimiques, géophysiques, minières et de géomatériaux. Elles sont présentées sur des cartes régionales et nationales. Ce SIGM constitue un outil de travail innovant pour les services de l'État camerounais et la profession minière, ainsi qu'un support de connaissances géoscientifiques pour l'éducation et la recherche nationale et internationale. sigm.minmidt.cm

Scrreen, réseau d'experts sur les matières premières critiques

La Commission européenne a créé une liste de matières premières critiques (CRM) pour son approvisionnement. Dans ce cadre, le projet SCRREEN vise à construire un réseau d'experts et à consolider les connaissances sur les chaînes de valeur des CRM. L'élaboration du système d'information recensant expertises et connaissances a été confié au BRGM.
Les informations, confidentielles, visent à accompagner les décideurs européens sur la stratégie CRM. L'enjeu est stratégique notamment pour les filières industrielles suivantes : les batteries, la mobilité électrique, les énergies renouvelables, l'électronique, la défense et l'aérospatiale.

Vigirisks, plateforme prédictive des risques naturels

Photo 3 / Développée par le BRGM, la plateforme scientifique Vigirisks de simulations de scénarios de risques doit faciliter l'estimation rapide de dommages suite à un événement naturel tel qu'un séisme, une submersion marine ou des mouvements de terrain. Ingénieurs, chercheurs ou experts "risques" peuvent faire jouer des scénarios pré-implémentés. En modifiant certaines caractéristiques de l'événement, il est également possible de créer un catalogue personnalisé de scénarios, voire, sous certaines conditions, d'en développer soi-même.

GeolSuite pour les données de lithologie de Celsius Energy

L'opérateur de géothermie Celsius Energy, filiale de Schlumberger, a sollicité le BRGM pour interroger de manière plus spécifique les données de lithologie diffusées sous forme graphique sur la plateforme InfoTerre, afin d'alimenter ses outils de simulation pour identifier des potentiels géothermiques. En s'appuyant sur les résultats de GeolSuite, portail d'accès unique à l'ensemble des applications constitutives du système d'information géologique du BRGM, celui-ci a créé une API *(application programming interface)* de consultation dédiée, et une interface de consultation cartographique permettant de mettre en avant une représentation brute de l'information.

Stéphane Loigerot
Directeur adjoint de la direction du Numérique pour les géosciences
Chef de projet en systèmes d'information

GéoRisques, la plateforme de référence tous publics pour promouvoir la culture de résilience

Suite au récent rapport sur la culture du risque du ministère de la Transition écologique, piloté par Fred Courant, la plateforme GéoRisques développée par le BRGM va être amplifiée et adaptée à de nouveaux usages. Objectif : en faire un outil de référence pour promouvoir la culture de la résilience en France.

Dans l'ADN du BRGM, il y a la data et la création de plateformes numériques destinées aussi bien aux professionnels qu'au grand public, afin d'aider à mieux connaître les géosciences, et en particulier à disposer des informations sur les risques pour prendre des décisions.

Créé il y a 8 ans, GéoRisques est un système d'information historique du BRGM. Il se présente sous la forme d'une plateforme web, https://www.georisques.gouv.fr, qui permet à tout un chacun de connaître les risques près de chez soi, qu'ils soient naturels et technologiques.

GéoRisques a obtenu jusqu'ici un vrai succès : en 2021, il a comptabilisé 6 millions d'usagers. Avec des pics de connexions au cours d'événements climatiques (comme les épisodes cévenols, qui se forment lorsque le vent chaud et humide en provenance de la Méditerranée se dirige vers le nord). Mais paradoxalement c'est en BtoB qu'il se distingue, par exemple pour réaliser des rapports d'état des risques sur une adresse postale, une parcelle de terrain, une commune. On compte en moyenne 25 000 connexions par jour, principalement pour des usages professionnels dans le secteur immobilier, par les notaires et les marchands de biens.

Un accès aux principales bases de données institutionnelles sur les risques

Basé sur la politique *open data* promue par l'État (utiliser des données ouvertes), GéoRisques offre un accès aux principales bases de données institutionnelles sur les risques, et de ce fait est très fortement utilisé. D'autant que la Loi ELAN du 23 novembre 2018 sur l'évolution du logement, de l'aménagement et du numérique, a réformé le droit immobilier et rendu obligatoire dans toute transaction un document appelé ERRIAL, pour État des risques réglementés pour l'information des acquéreurs et des locataires. Au total, plus d'un million de transactions immobilières ont lieu en France chaque année, et les services issus de GéoRisques y sont systématiquement valorisés. Notamment, il permet de produire un ERRIAL numérique labellisé.

Comment développer la culture du risque en France

GéoRisques est donc à la fois un site grand public et un outil de travail du quotidien pour un ensemble de professions. Il s'apprête à changer, pour devenir la plateforme de référence pour tous les publics en matière de promotion de la culture de résilience. En effet, le *rapport sur la Culture du risque*[1] réalisé à la demande de Barbara Pompili, ministre de la Transition écologique, et animé par le journaliste scientifique Fred Courant, pointe une culture du risque insuffisante en France.

Parmi les recommandations, GéoRisques a été identifié comme un vecteur pouvant contribuer non seulement à informer, mais surtout à expliquer comment faire face aux risques naturels et technologiques.

Ce rapport, véritable coup de projecteur sur GéoRisques, est une opportunité pour le BRGM de montrer, outre son savoir-faire en matière numérique et de data, la production géoscientifique réalisée quotidiennement dans l'établissement, dans de nombreux domaines en lien avec les risques (submersion marine, cavité, argile, sites et sols pollués…).

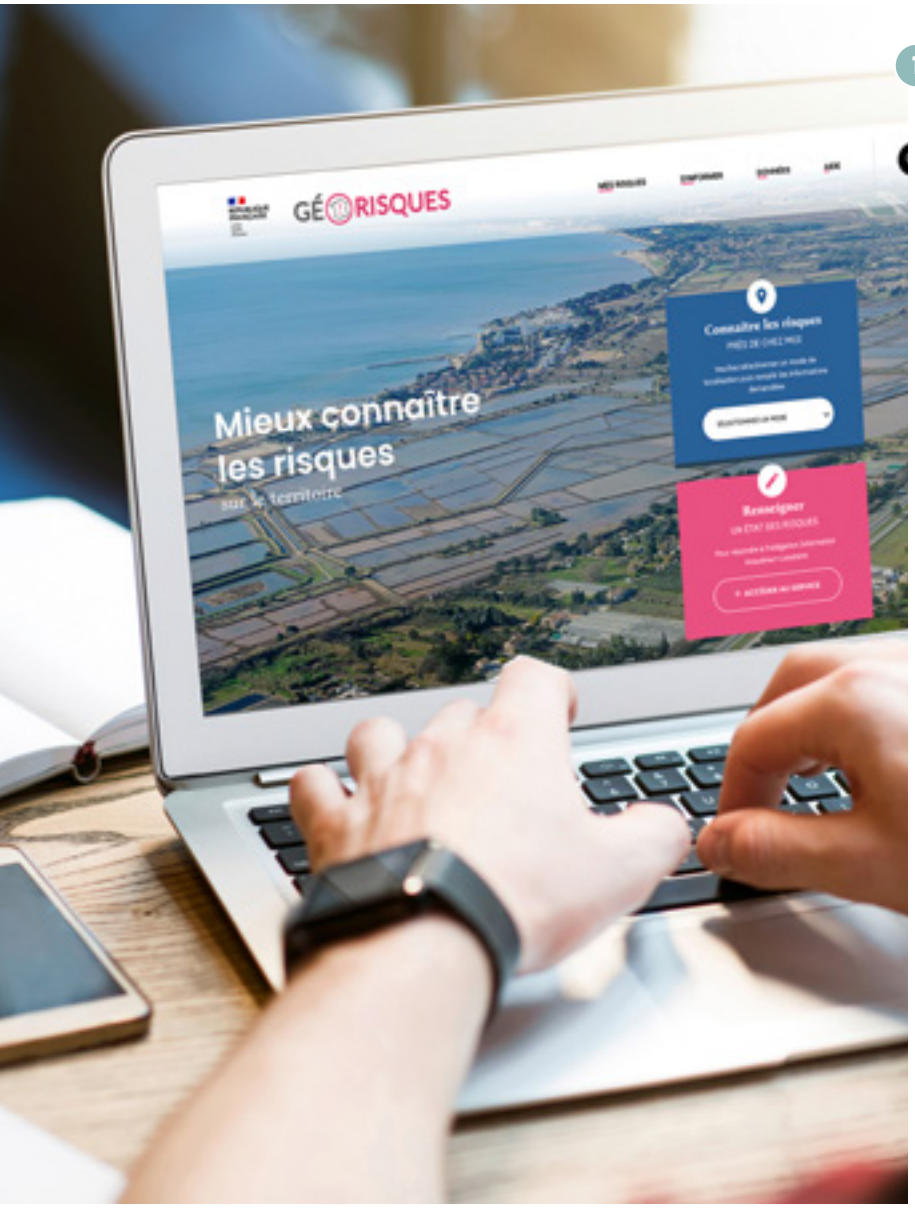
Le site va donc faire sa mue. Il s'agit de le rendre plus facile d'accès pour promouvoir cette culture de la résilience. Il sera complété, notamment pour proposer des contenus pédagogiques sur les risques majeurs, qu'ils soient d'origine naturelle ou technologique.

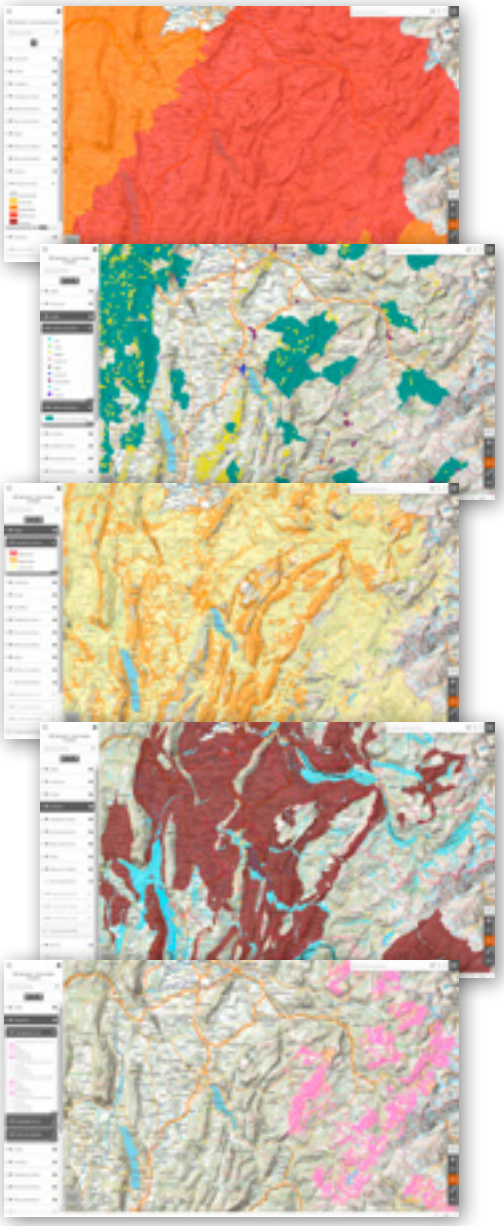
Il proposera des contenus éducatifs et ludiques élaborés par une structure en charge de la promotion de la culture de la résilience. En particulier, les technologies de réalité virtuelle seront mises en œuvre pour apporter une vision plus concrète et réaliste des conséquences des phénomènes.

L'ergonomie sera revue pour une expérience utilisateurs plus moderne et fluide (de nouveaux formats de page, une meilleure intégration du service phare Ma maison / Mes risques…), basée sur une visualisation simplifiée à l'aide de cartes informatives et interactives.

GéoRisques deviendra en fait un véritable écosystème, avec d'un côté une nouvelle interface pour le public, et de l'autre un système d'information, basé sur l'existant, qui restera un outil à l'usage des professionnels, en continuant à faciliter l'accès à des données sur les risques, validées, à jour, de tous types et toutes sources. ■

(1) Mission sur la transparence, l'information et la participation de tous à la gestion des risques majeurs, technologiques ou naturels - Ministère de la Transition écologique, juin 2021.





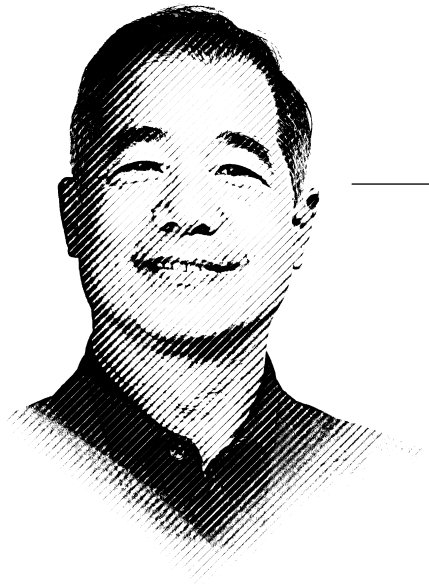
1 — La plateforme GéoRisques regroupe des informations liées à la fois aux risques naturels et aux risques technologiques et accessibles sous plusieurs formes.
© BRGM

2 — La visualisation des risques sur un lieu identifié représente plus de 80 % des consultations.
© BRGM

3 — Les données de risques sur une zone sont également téléchargeables sous la forme d'un descriptif reprenant l'ensemble des informations concernées.
© BRGM

Data Terra est une e-Infrastructure de recherche de données et services pour le système Terre, le BRGM acteur des données des géosciences est fortement impliqué sur les pôles de données Form@Ter et Theia.
© BRGM

L'interview partenaire



Frédéric Huynh

Directeur de l'infrastructure de recherche Data Terra et responsable du projet Gaia Data - EQUIPEX+/PIA3

« Le BRGM est un acteur important du numérique sur les géosciences, et donc un partenaire naturel de Data Terra pour développer l'infrastructure de données et services distribués à l'échelle nationale, européenne et internationale. »

— Quels sont les enjeux scientifiques de Data Terra ?

FRÉDÉRIC HUYNH — L'infrastructure de recherche Data Terra est une des trois e-infrastructures inscrites sur la feuille de route nationale dans le domaine système Terre et environnement. Créée en 2016, Data Terra est dédiée aux données et services pour l'observation et la connaissance intégrée du système Terre. Sa mission : mettre en œuvre et développer des infrastructures de données et de services distribués pour observer, comprendre et prévoir ses évolutions dans le contexte de changement global que nous connaissons. Concrètement Data Terra fédère 26 organismes pour fournir aux chercheurs des services de traitements des données multisources et multicapteurs (satellites, sols, *in situ*...) ainsi que des moyens techniques et informatiques performantes (stockage, traitement à la demande, calcul, IA, visualisation...). À partir de cet arsenal nous offrons des services à valeur ajoutée permettant d'affronter les défis scientifiques.

— Dans ce contexte, pourquoi le BRGM ?

F. H. — Techniquement, nous devons proposer un accès à des données qui comme je l'ai dit sont complexes, multiples et dynamiques. Il faut simplifier cet accès et le rendre transparent pour se focaliser sur les objets et processus scientifiques. Sachant qu'il existe une tendance à travailler en silos et que les verrous sont nombreux : accroissement exponentiel des volumes et des provenances, évolution des besoins, nécessaire co-construction entre science et ingénierie, intégration de l'intelligence artificielle... Avec derrière, une indispensable interopérabilité.

Dans ce contexte, il est évident que le BRGM est un partenaire essentiel principalement pour le pôle de données ForM@Ter (Terre solide) et la mise en œuvre de plateformes distribuées de données et services FAIR pour Data Terra. Le BRGM a adhéré à Data Terra en 2017 et est fortement investi dans ForM@Ter dont il est l'un des membres fondateurs. C'est un acteur important du numérique sur les géosciences, donc un partenaire naturel, et même majeur en valeur ajoutée stratégique.

— Quelques exemples de travaux ?

F. H. — Gaia Data regroupe 21 partenaires. C'est un projet de rupture, sur huit ans, qui doit développer une infrastructure distribuée de données et de services pour l'observation, la modélisation et la compréhension du système Terre, de la biodiversité et de l'environnement. C'est le BRGM qui va gérer et opérer un des nœuds, coordonner et développer des services d'accompagnement à l'utilisation. Citons aussi la construction de l'entrepôt thématique de données national pour les publications des disciplines concernées. Sans oublier les perspectives, avec la projection de Data Terra à l'Europe, dans le contexte EOSC notamment, et au niveau international. Des challenges à relever sur l'interopérabilité de données, les services multisources et multithématiques et le développement des approches intégrées du système Terre. ■

RESSOURCES HUMAINES

Une gestion des compétences prospective et pragmatique

La direction des Ressources humaines du BRGM a développé une démarche globale de gestion des emplois et des parcours professionnels (GEPP) qui vise à doter l'établissement des compétences qui lui sont nécessaires. L'attention se porte aussi sur les possibilités d'évolution et les conditions de travail des salariés, notamment des chercheurs, dans un objectif d'amélioration et de fidélisation.

Isabelle Plaid
Directrice des Ressources humaines

Marie Belossat
Directrice adjointe des Ressources humaines

Initiée en 2018, le BRGM poursuit, en l'affinant, sa démarche de GEPP. *« Elle nous permet, grâce à l'articulation des différents outils RH, de disposer d'une vision globale des compétences présentes dans l'établissement, des souhaits de mobilité des salariés et des profils à recruter »*, explique Marie Belossat, directrice adjointe des Ressources humaines. Cette approche, conjuguée à une connaissance fine du marché de l'emploi, notamment dans les secteurs en tension, a conduit à la mise en place en 2021 d'un premier plan Emploi : il définit la politique de recrutement du BRGM en orientant les priorités vers les compétences nécessaires à moyen et long terme. *« Le plan Emploi sera actualisé régulièrement pour s'ajuster aux besoins de l'établissement, en évolution continue »*, avance Isabelle Plaid, directrice des Ressources humaines.

La GEPP se traduit notamment par un taux de mobilité interne élevé : 6 % en 2021, soit plus de 60 salariés, contre 4 % prévu au Contrat d'objectifs et de performance (COP) 2018-2022. *« Une vraie dynamique a été enclenchée, soutenue par l'ouverture systématique des postes à l'interne,* souligne Marie Belossat. *Elle nous permet de répondre à nos besoins de compétences dans un contexte contraint, tout en favorisant le parcours professionnel de nos collaborateurs. »*

Un objectif : l'excellence scientifique

Le BRGM est le premier établissement public à caractère industriel et commercial (Epic) certifié HRS4R. La *Human Resources Strategy for Researchers* vise à améliorer les pratiques des organismes œuvrant dans le domaine de la recherche en matière de recrutement et de conditions de travail des chercheurs. Ce label européen a vocation à se généraliser.

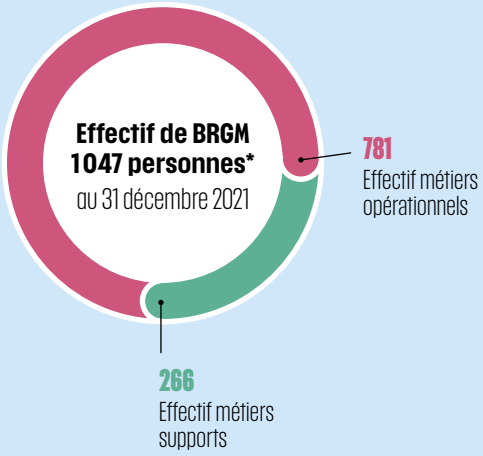
La certification HRS4R a été obtenue grâce à la réalisation d'un audit auprès des scientifiques et des chercheurs de l'établissement et l'élaboration d'un plan d'actions pour atteindre le niveau d'exigence attendu sur 49 critères (recrutement, reconnaissance, déontologie…). *« Ce processus d'amélioration continue, qui concerne tous les salariés du BRGM, a pour objectif d'assurer la qualité de nos prestations et le niveau de compétence de nos collaborateurs,* souligne Isabelle Plaid. *Il en va aussi de l'attractivité de l'établissement auprès des chercheurs et de leur fidélisation. »*

Vers un Pacte 2024

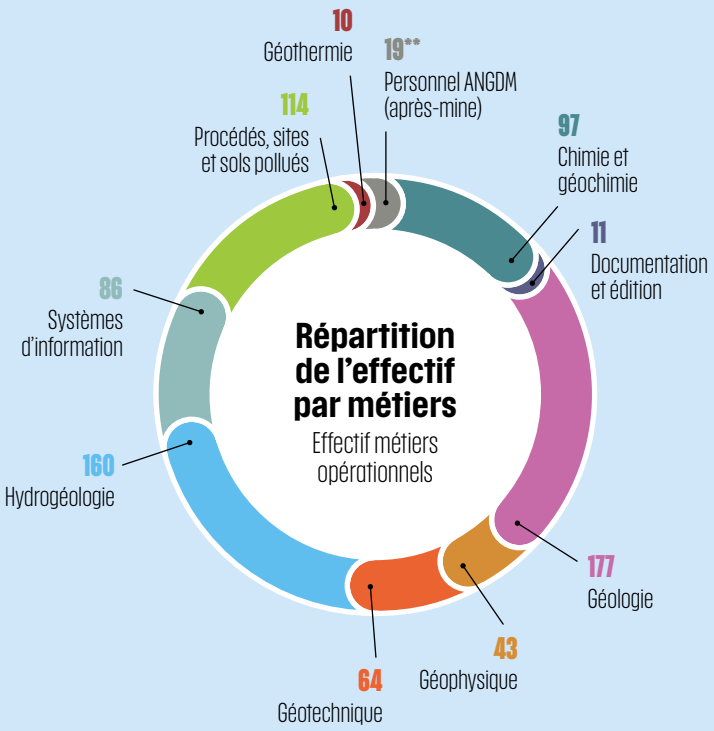
Le premier plan d'amélioration de la qualité de vie au travail s'est achevé en décembre 2021. Appelé Pacte 21 et résultant d'un baromètre social réalisé en 2019, il visait à mieux diffuser et appliquer la stratégie du BRGM, à développer la culture de l'écoute, du dialogue et de la transmission, à optimiser l'organisation du travail et à accompagner la vision RH.

Ce plan contenant 36 actions a atteint un taux d'avancement de 82 %, très satisfaisant au regard du contexte sanitaire. Exemple de la réalité du dialogue social au BRGM, sa mise en œuvre a été pilotée par une équipe composée de membres du comité de direction, de représentants du personnel et de managers de proximité. Un nouveau baromètre, prévu début 2022, doit permettre de mesurer l'impact de Pacte 21. ■

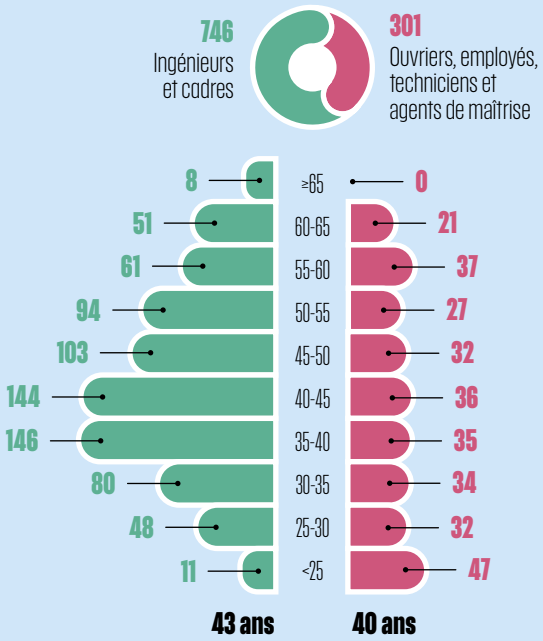
« En matière de mobilité interne, une vraie dynamique a été enclenchée, qui nous permet de répondre à nos besoins de compétences dans un contexte contraint, tout en favorisant le parcours professionnel de nos collaborateurs. »



* Dont : 6 post-doctorants, 16 thésards, 14 VSC et 50 contrats en alternance.



Pyramide des âges par classification
au 31 décembre 2021



**Effectif mis à la disposition du BRGM par l'Agence nationale pour la garantie des droits des mineurs pour l'activité après-mine.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le BRGM accélère sur la mobilité durable

Parce qu'elle contribue pour une part non négligeable à son empreinte carbone, le BRGM s'efforce de promouvoir une mobilité plus durable sur ses différents sites. Cette sensibilisation s'appuie notamment sur une récente enquête interne qui met en lumière les pratiques de déplacement domicile-travail des salariés et qui nourrit le nouveau plan de mobilité de l'établissement.

Fabienne Boutreau
Déléguée RSE

Hervé Riolland
Responsable du service Audit-Risques-Qualité

Ce n'est plus une mais trois semaines consécutives d'animations qui ont été organisées par le BRGM du 16 septembre au 7 octobre, dans le cadre des Semaines européennes du développement durable et de la mobilité. Avec un credo partagé par les 330 participants au sein de l'établissement : toutes les actions comptent pour avancer vers un avenir durable. Au programme, labellisé « La France en transition » par le ministère de la Transition écologique : des quiz en lien avec les objectifs de développement durable (ODD), des documentaires, deux balades forestières à travers le site d'Orléans ou encore le traditionnel challenge de la mobilité, qui met les salariés au défi de se déplacer autrement en renonçant à leur voiture individuelle. *« Cette édition, nous l'avons voulue solidaire*, souligne Fabienne Boutreau, déléguée RSE au secrétariat général. *Elle a permis, en convertissant en aide financière la distance parcourue par les participants au challenge, de verser 750 euros à l'association Cent pour un Loiret, qui accompagne des familles sans abri dans l'accès à un logement et à l'autonomie.* »

Sonder les intentions de changement

Ces semaines ont également donné lieu à une présentation de l'enquête interne réalisée au printemps 2021 sur les pratiques de déplacement domicile-travail hors crise sanitaire. Adressé à toutes les personnes amenées à venir travailler sur un site du BRGM, à Orléans comme en régions, ce questionnaire de 66 items a été rempli par 575 répondants, soit un taux de retour de près de 50 %, et complété par 546 commentaires. Il a permis d'actualiser la connaissance des habitudes de déplacement des salariés mais aussi de sonder leurs intentions de changement – pour un véhicule électrique, le vélo ou les transports en commun – et d'identifier leurs motivations ainsi que les freins. *« Les résultats alimenteront la réflexion de la direction et ses échanges avec le comité social et économique sur le renouvellement du plan de mobilité de l'établissement et la mise en place de nouvelles mesures pour inciter les salariés à une mobilité plus durable »*, annonce Fabienne Boutreau.

Les balades organisées sur le site d'Orléans en collaboration avec la commission Développement Durable du CSE ont bénéficié de l'intervention de notre prestataire, Rodolphe Beaubois, paysagiste et pépiniériste.
© BRGM

L'un des véhicules électriques utilisés pour des déplacement sur le site d'Orléans du BRGM.
© BRGM - C. Boucley

Les mêmes préoccupations environnementales ont, par ailleurs, présidé à la refonte, au 1er juillet 2021, de la politique voyages du BRGM qui régit les déplacements professionnels des collaborateurs. Outre l'introduction de dispositions favorisant le recours à la visioconférence, au train et au covoiturage, *« l'agence de voyages prestataire est désormais tenue d'estimer l'empreinte carbone de chaque solution proposée au salarié afin de le sensibiliser à l'impact environnemental de son trajet et de l'aider à faire son choix »*, précise Fabienne Boutreau.

Faire émerger de nouvelles solutions

Enfin, ces semaines ont donné la parole à Orléans Métropole pour deux conférences de restitution des Assises de la transition écologique organisées par la collectivité au premier semestre 2021. Le BRGM avait été invité à y participer en tant que pilote de la société civile sur la mobilité durable et avait ainsi contribué à faire émerger de nouvelles solutions. Autant d'opportunités saisies pour promouvoir la mobilité de demain à l'échelle des territoires. ■

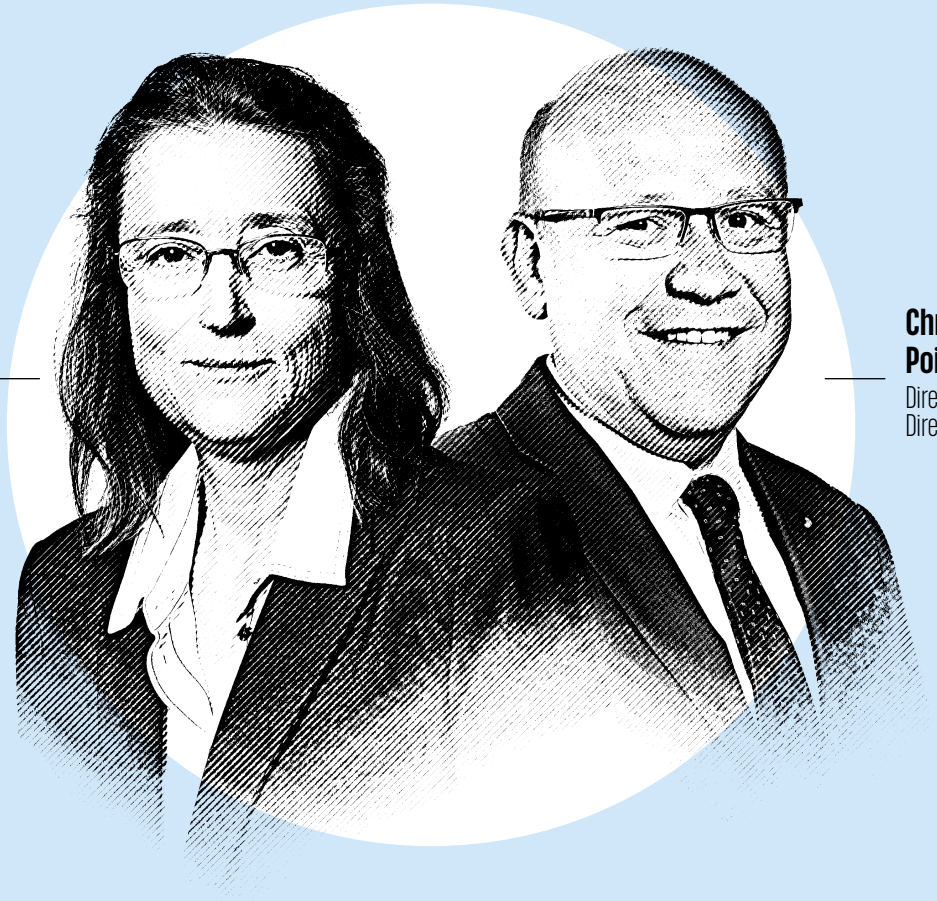
« Le challenge de la mobilité 2021 a permis, en convertissant en aide financière la distance parcourue par les participants, de verser 750 euros à une association caritative. »

La double certification du système de management de la qualité et de l'environnement renouvelée

Obtenues respectivement en 2004 et 2012, les certifications ISO 9001 et ISO 14001 du BRGM valorisent les efforts de l'établissement pour assurer la qualité et la performance de ses activités et en maîtriser les impacts environnementaux. Elles ont été renouvelées pour trois ans en 2021, suite à un audit réalisé par l'Afnor à Orléans et en région. Cette reconduction démontre l'efficacité du travail mené, confirmée par un taux de satisfaction client de 94 % en 2021. L'audit a également souligné les actions mises en place pour réduire l'empreinte environnementale du BRGM : le développement de la flotte de véhicules électriques ; la prise en compte accrue de critères de performance environnementale dans les achats ; la poursuite du télétravail ; la maintenance du patrimoine guidée par un objectif d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments… *« La robustesse de l'analyse des risques qui est effectuée en amont de tout projet de sorte à en limiter les impacts environnementaux a également été appréciée »*, ajoute Hervé Riolland, responsable du service Audit-Risques-Qualité.

Comité de direction

Michèle Rousseau
Présidente
Directrice générale



Christophe Poinssot
Directeur général délégué
Directeur scientifique

DIRECTIONS DE PROGRAMME

CONNAISSANCE DES SYSTÈMES GÉOLOGIQUES
Pierre Nehlig
Directeur de programme

IMAGERIE ET MODELISATION DU SOUS-SOL
Philippe Calcagno
Directeur de programme

RISQUES NATURELS ET RÉSILIENCE DES TERRITOIRES
Gilles Grandjean
Directeur de programme

GESTION DES IMPACTS MINIERS ET INDUSTRIELS SUR LE SOL ET LE SOUS-SOL
Dominique Guyonnet
Directeur de programme

DONNÉES, SERVICES ET INFRASTRUCTURES NUMÉRIQUES
Matthew Harrison
Directeur de programme

EAUX SOUTERRAINES ET CHANGEMENT GLOBAL
Dominique Darmendrail
Directrice de programme

RESSOURCES MINÉRALES ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE
Patrick d'Hughes
Directeur de programme

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET ESPACE SOUTERRAIN
Sylvie Gentier
Directrice de programme

Jean-Marc Trouillard
Secrétaire général

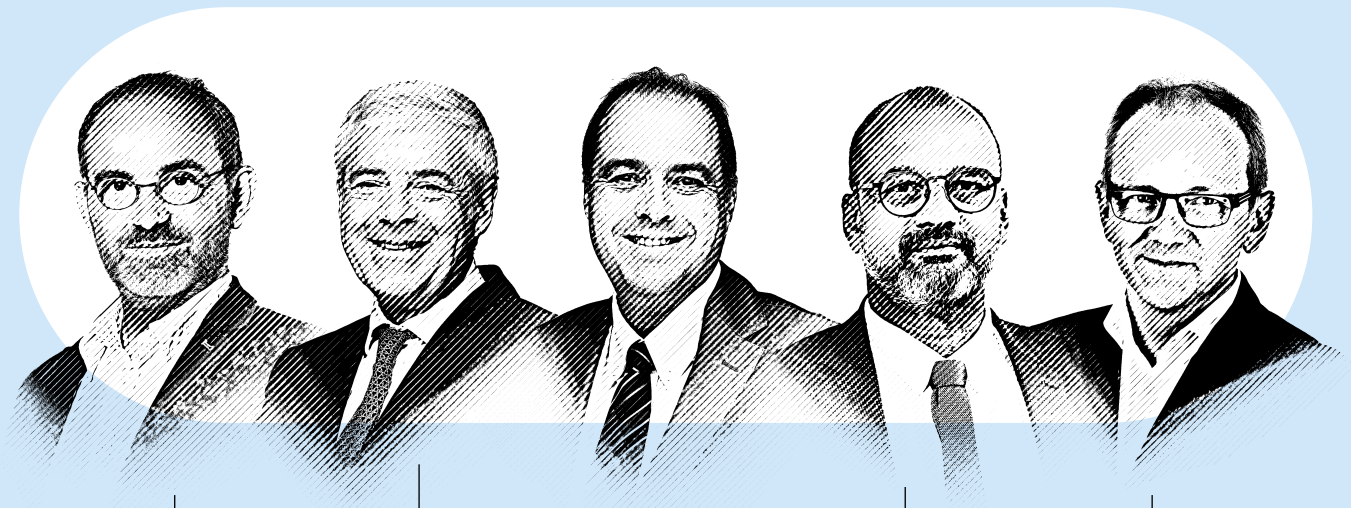
Isabelle Plaid
Directrice des Ressources humaines

Marie Belossat
depuis le 19/02/22

Philippe Freyssinet
Directeur de la Recherche, de la Programmation scientifique et de la Communication

Catherine Bonin
Directrice de l'Innovation et des Activités commerciales et internationales

Natacha Girold
Directrice financière



Christophe Didier
Directeur des Géoressources

Philippe Gombert
Directeur Eau, Environnement, Procédés et Analyses

Karim Ben Slimane
Directeur Risques et Prévention

Jean-Marc Mompelat
Directeur des Actions territoriales

Arnaud Garnier
Directeur du Numérique pour les géosciences

Conseil d'administration et comités

CONSEIL D'ADMINISTRATION

Janvier 2022

Présidente du conseil d'administration
Michèle Rousseau
Commissaire du Gouvernement
Émilie Bernardin-Skalen

EN QUALITÉ DE REPRÉSENTANTS DU MINISTRE CHARGÉ :

— DE LA RECHERCHE
Didier Marquer, Chargé de mission Sciences de la terre, Géoressources et Géotechnologies - Direction générale pour la Recherche et l'Innovation
Suppléante : Lise Fechner, Adjointe au chef du service de la Stratégie, de la Recherche et de l'Innovation (DGRI/SSRI) (ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation)

— DE L'ENVIRONNEMENT
Philippe Merle, Chef du service des Risques technologiques
Suppléant : Jean-Luc Perrin, Sous-directeur des Risques chroniques et du Pilotage (ministère de la Transition écologique)

— DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES
Sébastien Bidaud, Sous-directeur des secteurs stratégiques, Direction de la Diplomatie économique
Suppléante : Vanessa Salas-Pouget, Cheffe du pôle Énergie, sous-direction des secteurs stratégiques, Direction de la diplomatie économique (ministère de l'Europe et des Affaires étrangères)

— DE LA COOPÉRATION
Dominique Waag, Sous-directrice de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
Suppléant : Baptiste Bondu, Chef du pôle Pilotage des opérateurs et Stratégies sectorielles (ministère de l'Europe et des Affaires étrangères)

— DE L'ÉCONOMIE
Michel Schmitt, Ingénieur général des mines, Conseil général de l'Économie
Suppléante : Isabelle Wallard, Ingénieur général des mines, Conseil général de l'Économie (ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance)

— DU BUDGET
Alicia Saoudi, Cheffe du bureau de l'Énergie, des Participations, de l'Industrie et de l'Innovation, Bureau 3BEPII - Direction du Budget
Suppléante : Alexie Lalanne-Pelerin, Adjointe à la cheffe du bureau de l'énergie, des participations, de l'Industrie et de l'Innovation, Direction du Budget (ministère chargé des Comptes publics)

— DES MINES
Guglielmina Toro, Adjointe à la sous-directrice de la Protection et de la gestion des ressources en eau et minérale et des écosystèmes aquatiques, Direction de l'Eau et de la Biodiversité
Suppléant : Jean-François Gaillaud, Chef de bureau, Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, Direction de l'Eau et de la Biodiversité (ministère de la Transition écologique)

EN QUALITÉ DE PERSONNALITÉS CHOISIES EN RAISON DE LEURS COMPÉTENCES :

Anne Besnier, Vice-présidente déléguée à l'enseignement supérieur et de la recherche - Conseil Régional du Centre-Val de Loire
Sylvie Joussaume, Directrice de recherche au CNRS, Laboratoire de sciences du climat et de l'environnement, UMR 1572
Marc Chaussidon, Directeur - Institut physique du globe de Paris
Pierre-Alain Gautier, Directeur Corporate Affairs & Partenariats - Groupe ERAMET

EN QUALITÉ DE REPRÉSENTANTS DU PERSONNEL DU BRGM :

Marie-Christine Dictor (CFDT), **Nicolas Frissant** (CFDT), **Daniel Raucoules** (CFDT), **Denis Thiéblemont** (CGT), **Émilie Vanoudheusden** (CFE/CGC), **Pierre Vassal** (CFE/CGC)

MISSION DE CONTRÔLE ÉCONOMIQUE ET FINANCIER

Bruno Rossi, Jean-Pascal Codine

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Janvier 2022

Président
Vincent Lagneau, Directeur du centre des Géosciences de l'École des Mines (Paris, France)
Stéphane Bourg, Chargé de mission coopération européenne et internationale au CEA ISEC (Marcoule, France)
Bertrand Braunschweig, Directeur de la mission Inria de coordination du programme national de recherche en intelligence artificielle. Retraité.
Philippe Charvis, Directeur délégué à la science à l'IRD (Marseille, France)
Agnès Ducharme, Directrice de recherche au CNRS au METIS Université Panthéon Sorbonne (Paris, France)
Lara Duro, Directrice générale du groupe Amphos 21 (Espagne)
Lluís Fontboté, Professeur honoraire de Géologie économique, à l'Université de Genève (Genève, Suisse)
Émilia Huret, Adjointe au directeur R&D de l'ANDRA (Chatenay-Malabry, France)
Laurent Jolivet, Professeur à Sorbonne Université – UPMC (Paris, France)
Zoubeida Kebaïli Bargaoui, Professeur à l'École Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Université Tunis El Manar (Tunis, Tunisie)
Patrick Landais, Haut-Commissaire à l'énergie atomique et membre du Comité de l'énergie atomique au CEA (Saclay, France)
Louis Londe, Directeur technique de Géostock (Paris, France)
Laurent Montador, Directeur général adjoint du Groupe CCR (Paris, France)
Valérie November, Directrice de recherche au CNRS et affiliée au laboratoire LATTS, École des Ponts, Université Paris-Est (Paris, France)
Judith Sausse, Directrice de l'École nationale supérieure de géologie (Nancy, France)
Hervé Suty, Directeur général de Tergys et Président de CapBurdi (Blanquefort, France)
Tirza Van Daalen, Directrice du Service géologique des Pays-Bas – TNO (Pays-Bas)
Olivier Vidal, Directeur de recherche CNRS/ISTerre (Grenoble, France)

COMITÉ INTERNATIONAL

Janvier 2022

Président
Jean Lamy, Ancien ambassadeur

Özlem Adiyaman Lopes, UNESCO

Theresa Ponce de Leão, Présidente du conseil d'administration du Laboratoire national de l'énergie et de la géologie (LNEG), service géologique portugais

Denis Favier, Directeur de la Sécurité - Groupe TotalEnergies

Rémi Pelon, Senior Mining Specialist - Banque mondiale

Céline Adrien, Directrice du secrétariat d'EuroGeoSurveys (EGS)

Louis Maréchal, Chef de secteur Minerais et secteur extractif - OCDE

Vanessa Salas-Pouget, Cheffe du pôle Énergies - Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères

Rokhaya Samba Diene, Directrice de la Prospection et de la Promotion minière du ministère des Mines et de la Géologie du Sénégal, et Présidente de l'Organisation des services géologiques africains (OSGA)

Professeur Zahar, Professeur de l'Enseignement supérieur à l'École Polytechnique de Tunisie (EPT) et directeur du Laboratoire VDEC (Villes durables et environnement construit)

Jean Launay, Président du Partenariat français pour l'eau (PFE) ou **Marie-Laure Vercambre,** Directrice générale du PFE

Frédéric Maurel, AFD, Responsable adjoint de la division Eau-Assainissement

Didier Marquer, Chargé de mission Sciences de la terre, Géoressources et Géotechnologies à la direction générale de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)

Hervé Boisguillaume, Sous-Directeur de la Stratégie, des partenariats et des Affaires générales ou **Chahoul Gaffar,** Chef de bureau partenariats, opérateurs, projets, au ministère de la Transition écologique (MTE)

COMITÉ D'ORIENTATION STRATÉGIQUE DE L'INNOVATION

Janvier 2022

Jean-Yves Berthou (INRIA), Directeur du centre de Recherche INRIA-Saclay (Palaiseau, France)

Paul-Joël Derian (Groupe Avril), Group VP Innovation and Sustainable Development – GM (Paris, France)

Annie Geay (Bpifrance), Directrice des Études (Maisons-Alfort, France)

Gérard Jacquin (GJ Consulting SAS), Président (Vitry-sur-Seine, France)

Laurent Jammes (CNRS), Directeur des Partenariats industriels CNRS-INSU (Paris, France)

Frédéric Jory (SAGEOS), Directeur général (Orléans, France)

Philippe Portier, Expert Innovation Ouverte Collaborative (Écully, France)

Thierry Salmona (TGS conseil), Président (Paris, France)

Hervé Suty (CapBurdi), Président (Bordeaux, France)

COMITÉ NATIONAL D'ORIENTATION DU SERVICE PUBLIC

Janvier 2022

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE LA RELANCE
Par délégation, le Directeur général de l'Aménagement, du Logement et de la Nature

AU TITRE DU MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
Le Directeur de l'Eau et de la Biodiversité
Le Directeur général de la Prévention des risques
Le Directeur général des Infrastructures, des Transports et de la Mer
Le Directeur général de l'Énergie et du Climat
Le Directeur de la Recherche et de l'Innovation

AU TITRE DU MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR, DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION
Le Directeur général pour la Recherche et l'Innovation

AU TITRE DU MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR
Le Directeur général de la Sécurité civile et de la Gestion des crises

AU TITRE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
Le Sous-Directeur de la Performance environnementale et de la Valorisation des territoires

AU TITRE DU MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA SANTÉ
Le Directeur général de la Santé

AU TITRE DU MINISTÈRE DES OUTRE-MER
La Directrice générale des Outre-mer

AU TITRE DU MINISTÈRE DE LA CULTURE
Le Directeur général des Patrimoines

LE PRÉSIDENT DU COMITÉ SCIENTIFIQUE DU BRGM

LA PRÉSIDENTE DU BRGM

COMITÉ D'AUDIT

Janvier 2022

Présidente
Marie-Madeleine Mialot-Muller

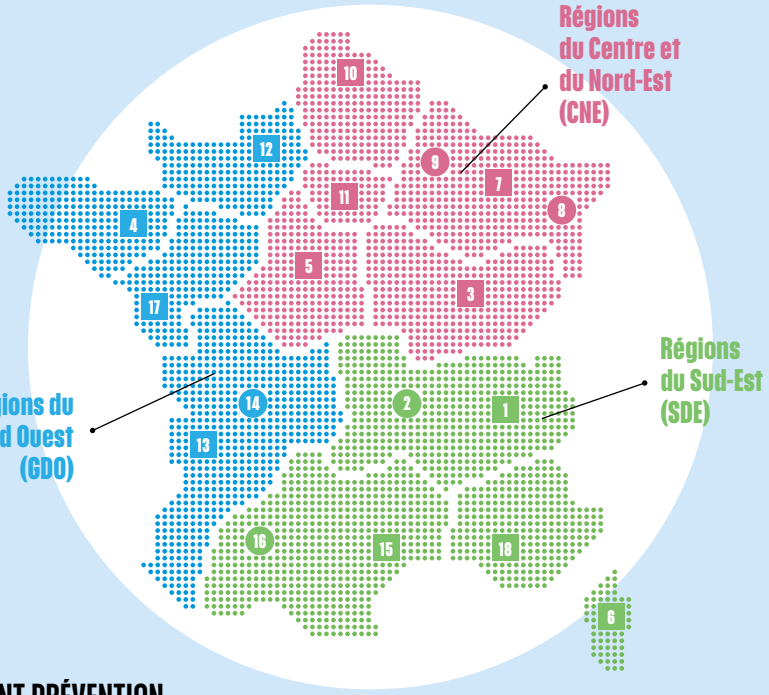
Jean-Pascal Codine
Ahmed J'Mila
Jean-Luc Perrin
Marie-Christine Dictor
Denis Thiéblemont
Émilie Vanoudheusden

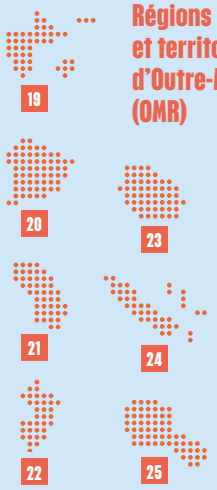
COMMISSAIRE DU GOUVERNEMENT
Émilie Bernardin-Skalen

Réseau territorial

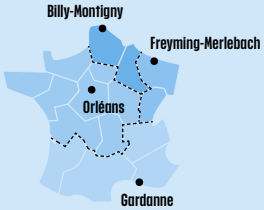
13 régions en métropole

5 délégations en métropole





Directions régionales
Délégations régionales



DÉPARTEMENT PRÉVENTION SÉCURITÉ MINIÈRE

UTAM (Unité territoriale Après-Mine)

Chef de Département
Jean-Dominique Barnichon
tél. 02 38 64 38 08
jd.barnichon@brgm.fr

UTAM Centre Ouest
Ingrid Girardeau
3 avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
tél. 02 38 64 35 43
utamcentreouest@brgm.fr

UTAM SUD
Florence Rivet
Puits Yvon Morandat
Quartier la Plaine
13120 Gardanne
tél. 04 42 65 46 20
utamsud@brgm.fr

UTAM NORD
Fabrice Quirin
Rue Louis Blériot
62420 Billy-Montigny
tél. 03 21 79 00 60
utamnord@brgm.fr

UTAM EST
Nicolas Taillefer
2 avenue de la Moselle
57800 Freyming-Merlebach
tél. 03 87 83 14 01
utamest@brgm.fr

DIRECTION DES ACTIONS TERRITORIALES

Directeur
Jean-Marc Mompelat
Directeur des Actions territoriales
tél. 02 38 64 31 88
jm.mompelat@brgm.fr

Directeurs adjoints
Régions du Centre et du Nord-Est
Patrick Charbonnier
Directeur adjoint
tél. 02 38 64 33 26
p.charbonnier@brgm.fr

Régions du Grand Ouest
Laurence Chéry
Directrice adjointe
tél. 02 38 64 37 39
l.chery@brgm.fr

Régions du Sud-Est
Pierre Pannet
Directeur adjoint
tél. 02 38 64 48 21
p.pannet@brgm.fr

Régions et territoires d'Outre-Mer
Claudie Carnec
Directrice adjointe
tél. 02 38 64 35 89
c.carnec@brgm.fr

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Direction régionale
Site de Lyon
Stéphane Buschaert
151 boulevard Stalingrad
69626 Villeurbanne Cedex
tél. 04 72 82 11 50
s.buschaert@brgm.fr

Délégation régionale
Site de Clermont-Ferrand
Émilie Vanoudheusden
12 avenue des Landais
63170 Aubière
tél. 04 73 15 23 00
e.vanoudheusden@brgm.fr

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Direction régionale
Site de Dijon
Manuel Parizot
Parc technologique
27 rue Louis de Broglie
21000 Dijon
tél. 03 80 72 90 40
m.parizot@brgm.fr

BRETAGNE

Direction régionale
Site de Rennes
Mélanie Bardeau
Rennes Atalante Beaulieu
2 rue de Jouanet
35700 Rennes
tél. 02 99 84 26 70
m.bardeau@brgm.fr

CENTRE-VAL DE LOIRE

5

Direction régionale
Site d'Orléans
Alain Saada
3 avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
tél. 02 38 64 31 92
a.saada@brgm.fr

CORSE

6

Direction régionale
Site de Bastia
Anthony Rey
Immeuble Agostini
Zone Industrielle de Furiani
20600 Bastia
tél. 04 95 58 04 33
a.rey@brgm.fr

GRAND EST

7

Direction régionale
Site de Nancy
Nicolas Koeberlé
1 rue Jean Zay
54500 Vandœuvre-lès-Nancy
tél. 03 83 44 81 49
n.koeberle@brgm.fr

8

Délégation régionale
Site de Strasbourg
Damien Salquebre
Parc Activités Porte Sud
Rue Pont du Péage
Bâtiment H1
67118 Geispolsheim
tél. 03 88 77 48 90
d.salquebre@brgm.fr

9

Délégation régionale
Site de Reims
Hélène Vinot
1 Rue Maurice Hollande
Bât. B1
51100 Reims
tél. 03 26 84 47 70
h.vinot@brgm.fr

HAUTS-DE-FRANCE

10

Direction régionale
Site de Lille
Xavier Daupley
Arteparc Bâtiment A
2 rue des Peupliers
BP 10406
59810 Lesquin Cedex
tél. 03 20 19 15 40
x.daupley@brgm.fr

ÎLE-DE-FRANCE

11

Direction régionale
Site de Paris
Éric Gomez
Tour Mirabeau
39-43 quai André Citroën
75739 Paris Cedex 15
tél. 01 40 58 89 17
e.gomez@brgm.fr

NORMANDIE

12

Direction régionale
Site de Rouen
Didier Pennequin
Parc de la Vatine
14 route d'Houppeville
76130 Mont-Saint-Aignan
tél. 02 35 60 12 00
d.pennequin@brgm.fr

NOUVELLE-AQUITAINE

13

Direction régionale
Site de Bordeaux
Nicolas Pedron
Parc Technologique Europarc
24 avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac
tél. 05 57 26 52 70
n.pedron@brgm.fr

14

Délégation régionale
Site de Poitiers
Jean-Christophe Audru
5 rue de la Goélette
86280 Saint-Benoît
tél. 05 49 38 15 38
jc.audru@brgm.fr

OCCITANIE

15

Direction régionale
Site de Montpellier
Ariane Blum
1039 rue de Pinville
34000 Montpellier
tél. 04 67 15 79 80
a.blum@brgm.fr

16

Délégation régionale
Site de Toulouse
Anne-Valérie Hau-Barras
Parc technologique du Canal
3 rue Marie Curie
Bâtiment ARUBA - BP 49
31527 Ramonville-Saint-Agne
tél. 05 62 24 14 50
av.hau-barras@brgm.fr

PAYS DE LA LOIRE

17

Direction régionale
Site de Nantes
Xavier Rachez
1 rue des Saumonières
BP 92342
44323 Nantes Cedex 3
tél. 02 51 86 01 51
x.rachez@brgm.fr

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

18

Direction régionale
Site de Marseille
Isabelle Duhamel-Achin
117 avenue de Luminy - BP 168
13276 Marseille Cedex 9
tél. 04 91 17 74 77
i.duhamelachin@brgm.fr

OUTRE-MER

GUADELOUPE

19

Direction régionale
Ywenn De La Torre
Parc d'activités de Colin
La Lézarde
97170 Petit-Bourg
tél. 05 90 41 35 48
y.delatorre@brgm.fr

GUYANE

20

Direction régionale
Frédéric Tronel
Domaine de Suzini
Route de Montabo
B.P. 552
97333 Cayenne Cedex 2
tél. 05 94 30 06 24
f.tronel@brgm.fr

MARTINIQUE

21

Direction régionale
Benoît Vittecoq
Villa Bel Azur
4 lotissement Miramar
Route Pointe des Nègres
97200 Fort-de-France
tél. 05 96 71 17 70
b.vittecoq@brgm.fr

MAYOTTE

22

Direction régionale
Charlotte Mucig
Lotissement "Les trois Vallées" n° 1
Immeuble "Le Jacaranda" n° 5
BP 363 Kaweni
97600 Mamoudzou
tél. 02 69 61 28 13
c.mucig@brgm.fr

LA RÉUNION

23

Direction régionale
Kévin Samyn
5 rue Sainte-Anne
CS 51016
97404 Saint-Denis Cedex
tél. 02 62 21 22 14
k.samyn@brgm.fr

ANTENNES

NOUVELLE-CALÉDONIE

24

Vincent Mardhel
DIMENC/SGNC,
1 ter, rue Édouard Unger
Vallée du Tir - BP 56
98845 Nouméa Cedex
tél. 06 87 27 03 65
v.mardhel@brgm.fr

25 POLYNÉSIE

Activité provisoirement suspendue
Contact :
Claudie Carnec
c.carnec@brgm.fr

Un résultat net 2021 bénéficiaire pour le groupe BRGM

En 2021, le BRGM confirme le redressement initié en 2020. L'amélioration des résultats s'appuie sur une activité opérationnelle en progression pour BRGM EPIC et le dénouement favorable de l'opération de cession des titres ERAMET pour sa filiale BRGM SA.

Pour rappel, avec quatre autres établissements publics de recherche (INRAE, CIRAD, IFREMER et IRD), le BRGM est opérateur de l'État au titre du programme 172 de la LOLF. Le BRGM reçoit également des subventions pour charges de service public (SCSP) du programme 181, notamment pour ses activités Appui aux politiques publiques et Après-mine.

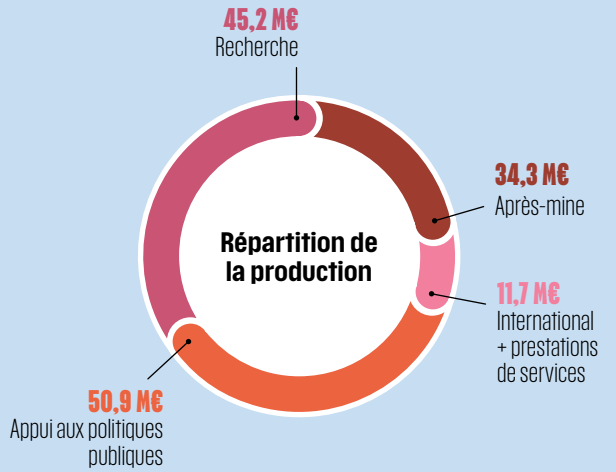
Au niveau du groupe BRGM

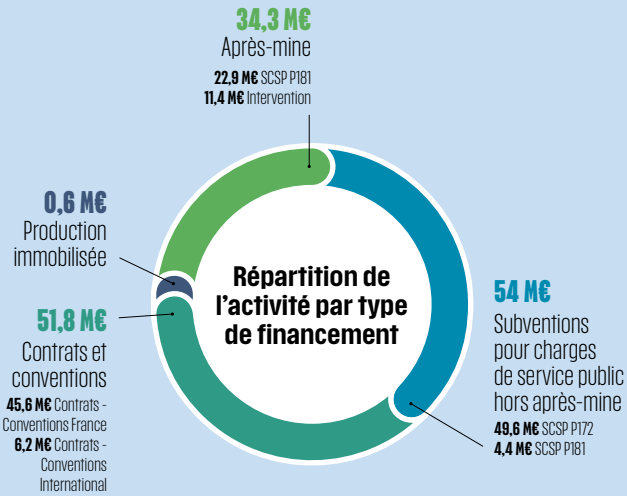
Le résultat net consolidé revenant au groupe s'établit à +12 M€ en 2021 (contre +0,3 M€ en 2020). La contribution des entités à la formation de ce résultat net est la suivante :

- le BRGM EPIC contribue à hauteur de +3,6 M€, ce qui correspond à son résultat net social de +12,7 M€, corrigé des écritures ayant trait à ses filiales (principalement, les reprises sur dotations aux provisions liées à BRGM SA) ;
- BRGM SA contribue à hauteur de +7,6 M€, pour l'essentiel liés à la cession des titres ERAMET ;
- SAGEOS apporte +0,8 M€ de résultat au groupe en 2021, résultant principalement de la cession de titres CFG et des dividendes reçus de ses filiales et participations ;
- CFG, MPT IRIS Inc et IRIS INSTRUMENTS contribuent respectivement à hauteur de +0,1 M€, -0,4 M€ et +0,4 M€.

Au niveau de BRGM EPIC

Le résultat net de BRGM EPIC s'est encore amélioré durant l'exercice 2021, avec un bénéfice de 12,7 M€ contre une perte de 1,6 M€ en 2020. Le résultat de fonctionnement a progressé de 1,9 M€ et s'élève à 4 M€ (contre 2,1 M€ en 2020). Le résultat financier progresse de 12,3 M€ par rapport à 2020 et s'élève à +8,7 M€ en 2021 (contre -3,6 M€ en 2020). Tous ces éléments conduisent au versement d'un intéressement (1,9 M€) et permettront un abondement au plan d'épargne d'entreprise en 2022.

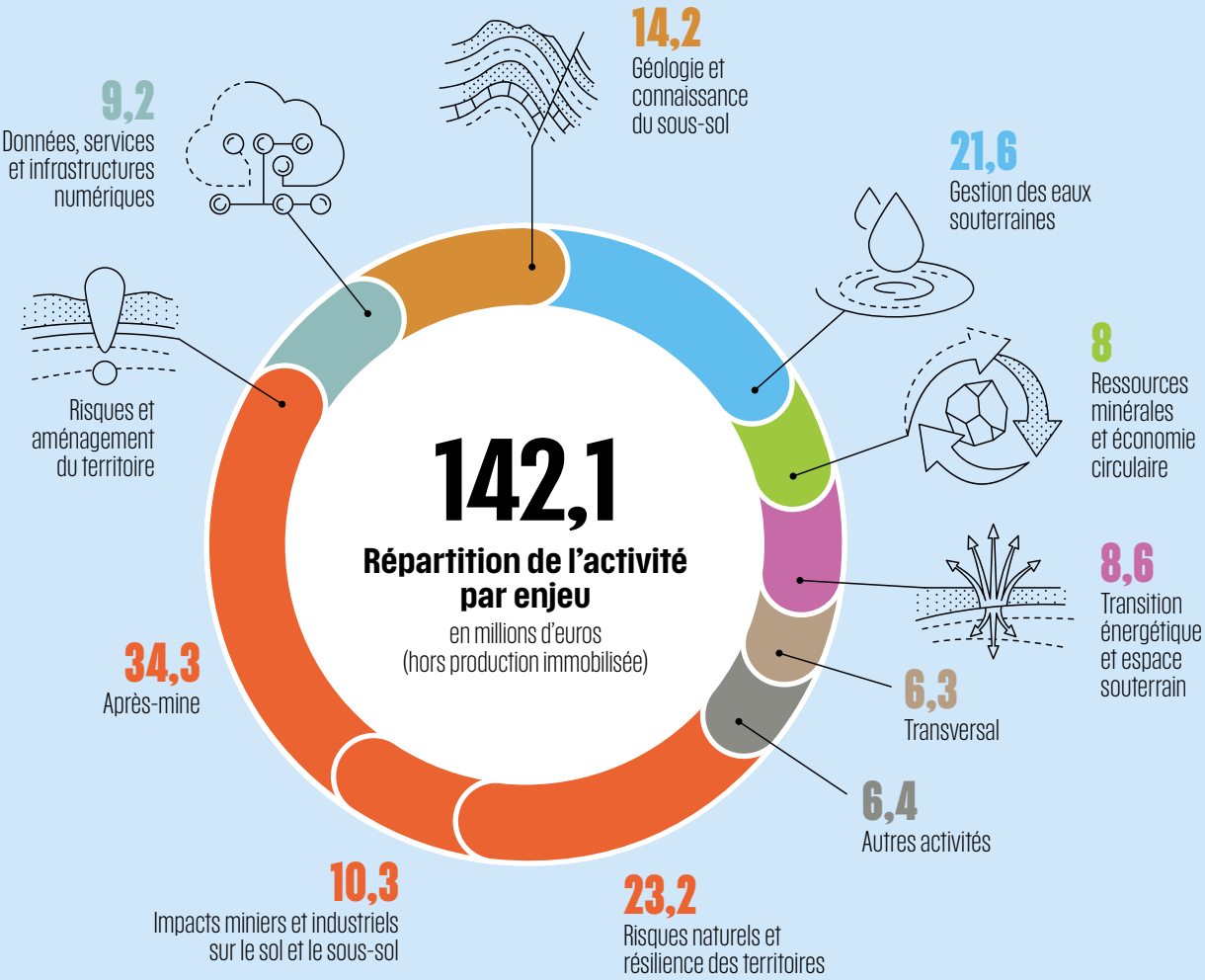




+4 M€
Résultat d'exploitation
du BRGM EPIC en 2021

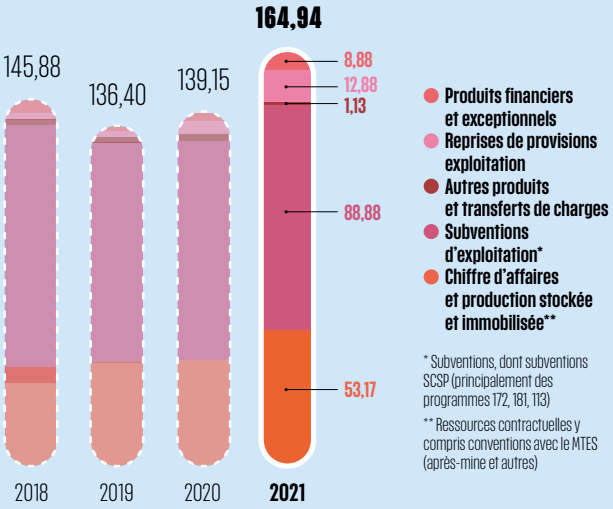
156
Produits d'exploitation 2021
en millions d'euros

Charges d'exploitation 2021
en millions d'euros
152



Évolution des produits totaux 2018-2021

en millions d'euros

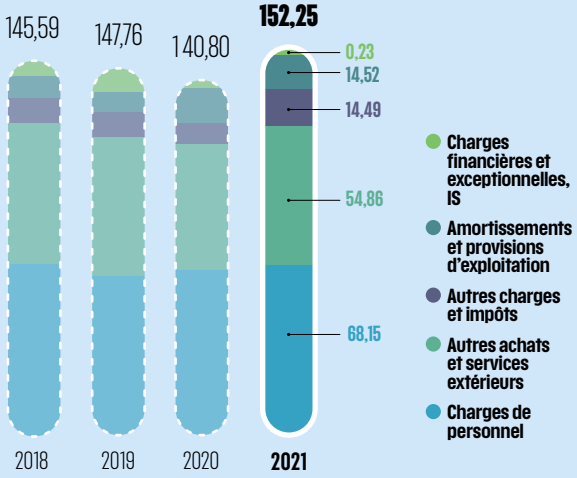


* Subventions, dont subventions SCSP (principalement des programmes 172, 181, 113)

** Ressources contractuelles y compris conventions avec le MTES (après-mine et autres)

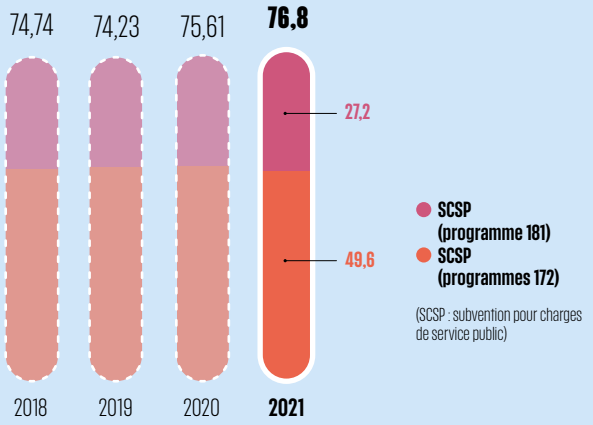
Évolution des charges totales 2018-2021

en millions d'euros



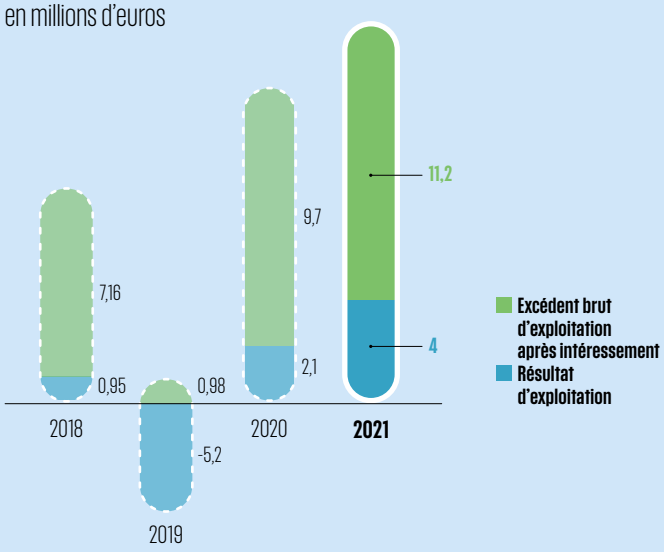
Évolution des dotations de l'État

en millions d'euros



Évolution du résultat d'exploitation

en millions d'euros



Le total des ressources de fonctionnement de l'année 2021 s'établit à 156 M€. Hors reprises sur provisions et transferts de charges, les ressources liées à l'activité courante progressent de 6,6 % par rapport à 2020 et s'élèvent à 140,6 M€. Les charges de fonctionnement s'élèvent au total à 152 M€ en 2021. Après retraitement des dotations aux provisions et d'une cotisation à un nouveau fonds de retraite pour 6 M€, les charges liées à l'activité courante s'élèvent à 138,2 M€, soit une augmentation de 6,6 % par rapport à 2020. La hausse concerne essentiellement les charges externes opérationnelles (+ 6,5 M€), en lien avec la progression de l'activité. Les Charges de personnel sont stables (à 68,2 M€).

Pour l'activité hors Après-mine, le niveau des SCSP reste stable par rapport à 2020 (53,9 M€). Le montant des contrats et conventions pour 51,8 M€ est quant à lui en progression de 5,3 % par rapport à 2020. Sur le seul périmètre commercial, l'évolution est contrastée entre l'activité à l'international qui enregistre une progression de +1,8 M€ par rapport à 2020, et le commercial France qui voit sa production légèrement diminuer de 0,5 M€.

La production relative à la mission d'appui aux politiques publiques (APP) atteint son niveau le plus élevé depuis six ans et s'établit à 29,6 M€. En revanche, l'activité de recherche publique financée sur contrats et conventions (11,9 M€) enregistre une baisse de 2,8 M€ par rapport à 2020. Cette évolution s'explique à la fois par une baisse croissante des taux de cofinancement finaux des projets de recherche publics nationaux et par le dénouement financier des projets européens H2020 à un niveau inférieur à celui prévu.

L'activité Après-mine de son côté bénéficie tout à la fois d'une progression de la SCSP qui lui est allouée (+1 M€) et d'une importante augmentation de sa production sur travaux (+ 5,2 M€).

Pour ce qui concerne le résultat financier de 8,7 M€ en 2021, il résulte de l'augmentation de la valeur de BRGM SA (consécutive à la vente des titres ERAMET pour l'essentiel) et de la remontée de dividendes de SAGEOS (1,5 M€).

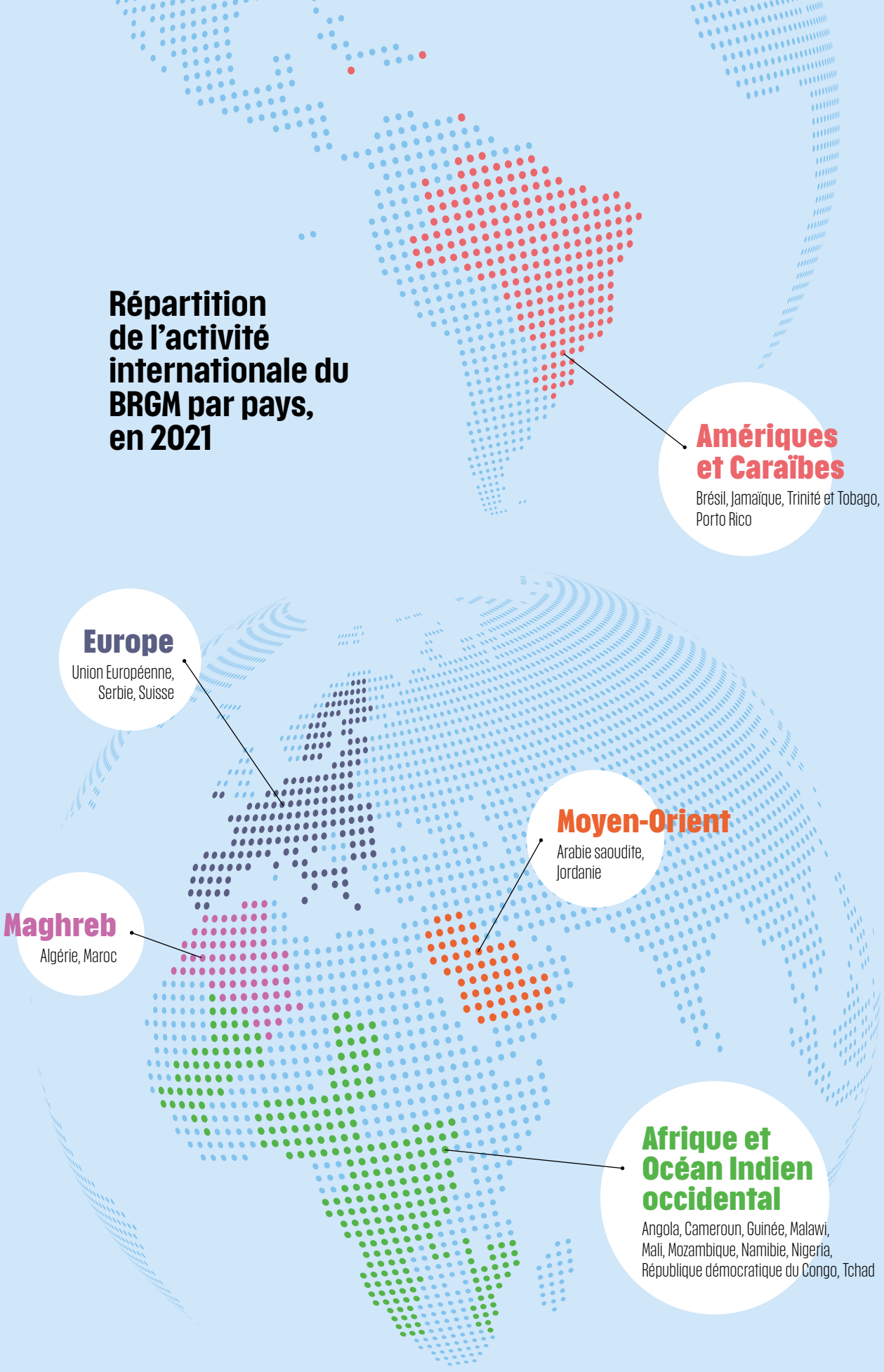
Enfin, l'impôt sur les sociétés dû pour le groupe s'élève à 1 M€ en 2021. ■

Évolution des ressources contractuelles de recherche scientifique et appui aux politiques publiques

en millions d'euros HT

Contrats et conventions + production immobilisée	**2019**	**2020**	**2021**
Union Européenne et Feder	6,424	7,409	4,618
ANR + Carnot	2,047	2,071	2,410
Agences hors ANR	9,678	9,096	8,900
Collectivités	6,574	6,605	8,455
Ministères, Services de l'État	10,957	12,990	16,299
Entreprises	2,628	2,216	1,127
Sous-total contrats et conventions recherche + APP	**38,309**	**40,387**	**41,809**

Répartition de l'activité internationale du BRGM par pays, en 2021



Amériques et Caraïbes
Brésil, Jamaïque, Trinité et Tobago, Porto Rico

Europe
Union Européenne, Serbie, Suisse

Moyen-Orient
Arabie saoudite, Jordanie

Maghreb
Algérie, Maroc

Afrique et Océan Indien occidental
Angola, Cameroun, Guinée, Malawi, Mali, Mozambique, Namibie, Nigeria, République démocratique du Congo, Tchad

Filiales et participations

Les filiales et participations du groupe sont rassemblées sous trois holdings correspondant à trois branches d'activité.

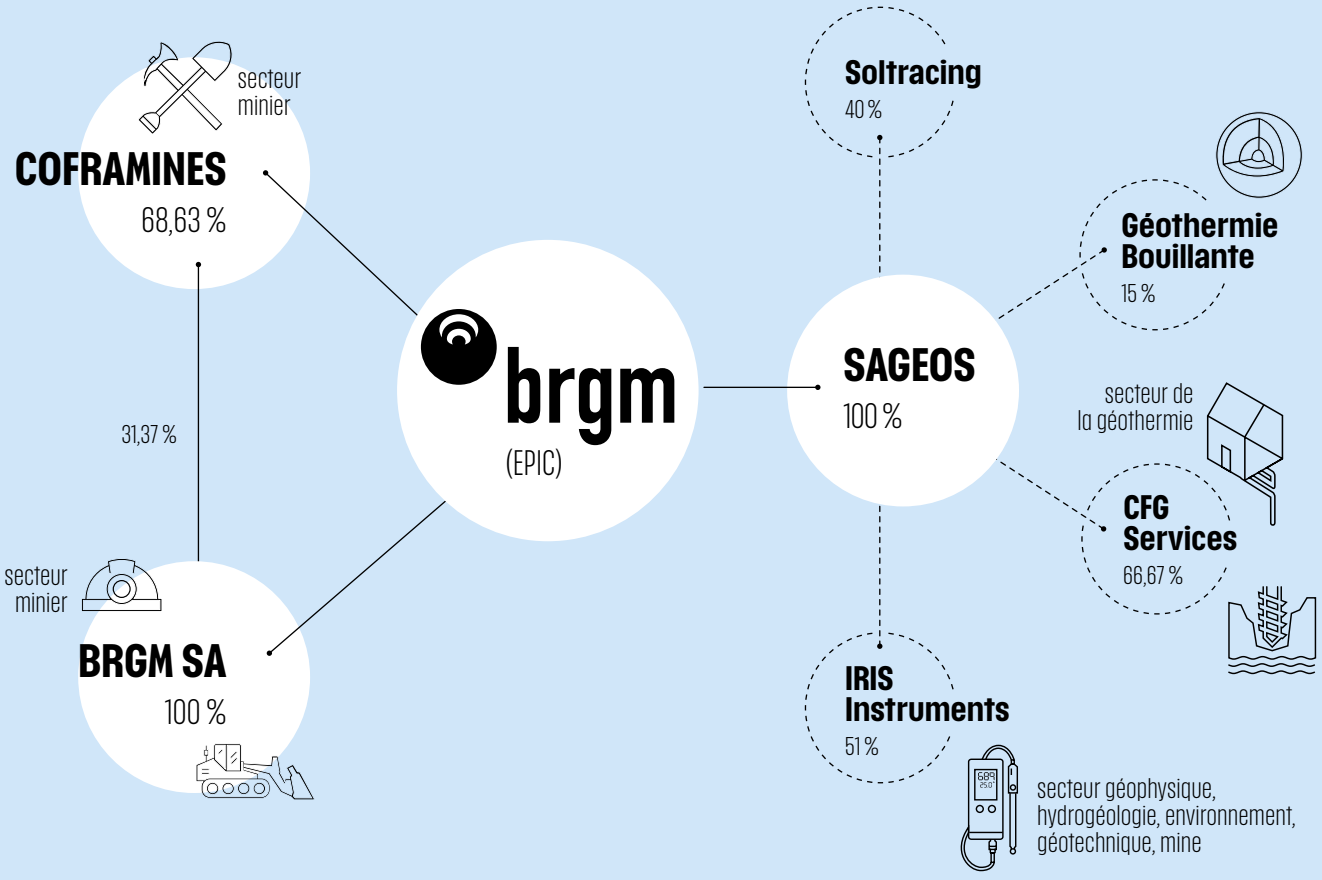
La société SAGEOS regroupe des participations détenues dans des filiales opérant dans le domaine de la géothermie avec d'une part, CFG dont elle a 66,6 % du capital et d'autre part, Géothermie Bouillante détenue à 15 % (ORMAT Systems et la Caisse des Dépôts et Consignations détenant respectivement 63,75 % et 21,25 % du capital), dans le domaine des instruments de mesure de la géophysique, de l'hydrogéologie, de l'hydraulique, de la géotechnique et de la mine avec IRIS Instruments détenue à 51 % (le groupe japonais OYO en possédant 49 %) et dans la gestion des terres excavées avec Soltracing détenue à 40 % (HESUS en possédant 50 %).

Coframines et BRGM SA regroupent les participations résiduelles du groupe BRGM dans le secteur minier (sociétés sans activité ou développement programmé, ou en cours de liquidation).

BRGM SA détient une créance sur la Société de Participation Minière du Sud Calédonien (SPMSC) depuis la cession en février 2005 à cette dernière de la participation du groupe BRGM dans le projet de GORO en Nouvelle-Calédonie. ■

Organigramme du groupe BRGM

au 31 décembre 2021



Une année 2021 forte en activité

Président : **Georges Picard**
Directeur général : **Éric Lasne**
Chiffre d'affaires : **5,468 M€**
Participation SAGEOS : **66,66 %**
Effectif : **20 salariés**

Georges Picard
Président de CFG

La Compagnie Française de Géothermie - CFG est une société leader sur son marché, dont le cœur de métier tourne autour de 4 domaines :
• Les études et l'expertise dans le domaine des ressources géothermales ;
• L'ingénierie et la maîtrise d'œuvre de conception et de réalisation dans tous les domaines d'application de la géothermie (y compris production d'électricité et thermalisme) ;
• La maintenance et le suivi d'exploitation d'installations de production géothermale ;
• L'expertise et les prestations de services et vente de produits dans les domaines de la corrosion et de la microbiologie industrielle.

CFG apporte à ses clients les compétences sous-sol nécessaires à la conception, la réalisation et le suivi d'exploitation de tous types de ressources géothermales profondes ou superficielles, quel que soit leur niveau de température. Par extension, CFG produit de l'ingénierie appliquée aux boucles géothermales et au conditionnement des fluides qui y circulent.

Pour assurer ses missions, CFG s'appuie sur deux produits regroupés dans une unique direction de la production :
• IMO - Ingénierie et maîtrise d'œuvre (secteur amont : caractérisation des ressources, conception, réalisation) et ;
• MSE - Maintenance et suivi d'exploitation (secteur aval : mise en service, suivi d'exploitation et maintenance, réhabilitation).

L'activité d'ingénierie et de maîtrise d'œuvre a connu un niveau d'activité soutenu à partir du deuxième trimestre avec la direction d'exécution et la supervision d'un doublet au Dogger neuf à Évry (91) et des travaux significatifs de réhabilitation de puits en France et en Suisse. Des études de faisabilité en Île-de-France et en régions Centre-Val de Loire et PACA laissent entrevoir de beaux projets de production d'énergie décarbonée sur réseaux de chaleur et dans le domaine de l'industrie dans un futur proche.

CFG a accompagné des opérateurs énergéticiens majeurs dans leur projets et développements de projets de géothermie électrogène dans les territoires d'Outre-mer. Ces projets redynamisent le secteur de l'ingénierie du sous-sol en milieu volcanique et permettent de redévelopper des compétences spécifiques à ce domaine d'activité.

L'activité d'expertise en microbiologie pour le compte de l'ANDRA s'est poursuivie avec une intensité cependant en retrait par rapport aux prévisions.

L'activité de maintenance et de suivi d'exploitation a connu une année particulièrement active en travaux de maintenance et vente de matériel spécialisé d'équipement de puits.

Les travaux de maintenance programmée, au nombre de 7 cette année ont généré un volume d'activité élevé sollicitant fortement les équipes techniques dans un contexte sanitaire encore compliqué en 2021. À ces opérations de maintenance se sont ajoutées des interventions sur pannes mettant à l'épreuve la réactivité et la disponibilité de nos équipes.

Les travaux de maintenance ont conduit à la mise en évidence de désordres soit liés aux équipements de production soit aux ouvrages eux-mêmes. La remise en état des installations a généré de la vente d'équipements et de la maîtrise d'œuvre de réhabilitation. On notera également l'équipement de deux doublets neufs à Champs-sur-Marne et Vélizy avec les technologies de CFG en termes de dispositif de traitement contre la corrosion.

La production de kits Labège a été très forte avec le regain d'activité du secteur pétrolier et gazier après deux années de faible demande et de prix bas. Des commandes importantes ont été honorées notamment pour des opérateurs en Afrique de l'Ouest.

Intervention de réhabilitation complexe avec « snubbing unit » en Suisse.
© CFG

Au titre de la recherche et du développement, des projets en partenariat se sont poursuivis en 2021 sur des sujets techniques variés comme la mise au point de pompes immergées haute température ou la recherche de solutions innovantes de couplage entre géothermie et réinjection de CO_2.

Les travaux de recherche (financement ADEME) sur les complétions en matériau composite ont été finalisés en 2021 avec la mise au point d'une méthodologie de cimentation spécifique. Ces travaux trouveront dès 2022, des champs d'application dans le cadre de la réalisation de deux doublets intégrant cette technologie à Alfortville et Champigny-sur-Marne. ■

Vers une reprise de l'exploration minière

Catherine Truffert
Présidente d'IRIS Instruments

Présidente : **Catherine Truffert**
Chiffre d'affaires : **5,9 M€**
Participation SAGEOS : **51 %**
Participation OYO : **49 %**
Effectif : **26 salariés**

Pour ses employés et ses clients, la crise sanitaire et toutes ses conséquences sont demeurées une préoccupation centrale d'IRIS Instruments en 2021. La cohésion et le professionnalisme des équipes ont une fois encore été au rendez-vous pour affronter cette deuxième année atypique. Entravés par les restrictions successives des pays, les déplacements aux colloques scientifiques, salons commerciaux et chez les clients sont restés limités. Toutefois, les outils de communication numériques ont su être mis à contribution pour ne pas perdre le lien avec les partenaires scientifiques, commerciaux et les clients.

Au plan financier, la société affiche de belles performances qui sont portées de façon égale par les marchés de l'exploration minière, de la recherche d'eau souterraine et de l'environnement.

Les succès commerciaux des résistivimètres compacts (SYSCAL) dédiés à l'auscultation des premiers 250 m du sous-sol s'intensifient avec une utilisation qui s'étend au-delà des applications traditionnelles que sont l'hydrogéologie, l'auscultation des risques naturels et anthropiques, l'archéologie (...). Ainsi, ces instruments de référence en imagerie électrique, d'une fiabilité plébiscitée, sont maintenant utilisés en routine dans le domaine du Génie civil.

Les budgets mondiaux dédiés à l'exploration minière ont sensiblement augmenté en 2021, dopés par une demande croissante en métaux de base et métaux critiques liée aux transitions énergétiques (transport et énergie). IRIS Instruments a pu profiter de cette dynamique avec une augmentation des ventes de système d'exploration de résistivité et de polarisation provoquée profonde, au-delà des 250 premiers mètres. Même s'il est trop tôt pour le prédire, cet enthousiasme pour l'exploration profonde devrait s'inscrire dans la durée.

IRIS Instruments est prêt à répondre à la demande en recherche minière profonde avec la publication de son brevet EP3572846A1 « Transformateur de puissance élevée et émetteur pour des mesures géophysiques » et ses familles protégées aux USA, au Canada et en Australie. Dans la panoplie des équipements pour l'auscultation profonde, avec ses 6kW de puissance, cet émetteur occupera une place clé au coté des FullWavers et des récepteurs plus traditionnels tels que les ELREC.

La vente d'équipements dans le secteur privé s'est intensifiée en 2021, ce qui témoigne d'une reprise économique sensible malgré les difficultés encore rencontrées par les opérateurs pour se déplacer d'un théâtre d'intervention à l'autre.

Au plan de la recherche et du développement, IRIS Instruments poursuit une activité soutenue pour offrir à ses clients des solutions adaptées à leurs défis. La société bénéficie de soutien au titre du plan de relance dans le cadre de son laboratoire commun avec le CEA/IRFU. Des succès aux appels à projets lui offrent également un cadre propice pour une recherche collaborative de qualité avec le BRGM et d'autres partenaires scientifiques. Cet investissement garantit les performances de futurs instruments qui seront proposés aux clients de demain. ■

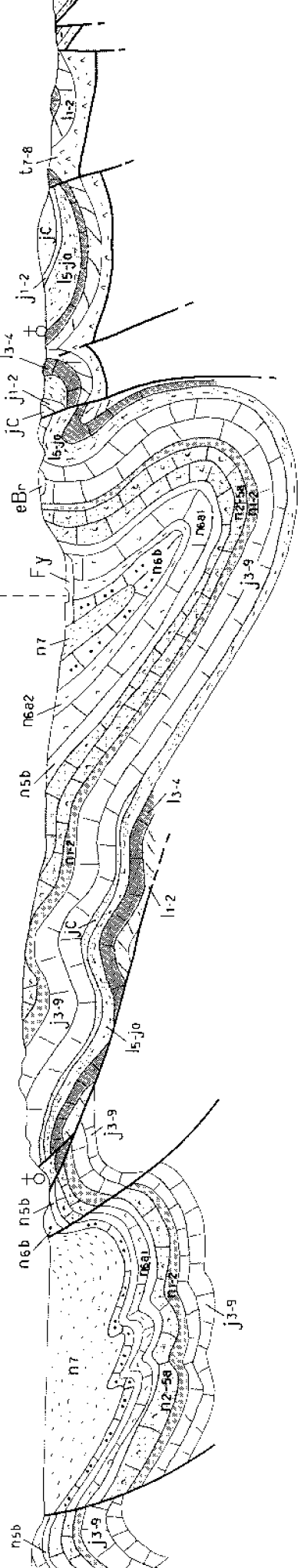
La société CCI Consult utilise un résistivimètre SYSCAL PRO pour ausculter le sous-sol des voies de chemin de fer en France.
© IRIS Instruments

Service de la Communication,
de la Médiation scientifique et des Éditions du BRGM
3 avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2

Crédits
Sauf mention contraire, les photographies sont issues de la banque d'images BRGM. Droits de reproduction des textes et illustrations réservés.
ISBN 978-2-7159-2780-3

Conception
& réalisation graphique
EFIL / 02 47 47 03 20 / www.efil.fr

Impression
Imprimerie Graphius (Belgique), imprimeur labellisé Imprim'vert (charte pour la réduction de l'impact environnemental, la traçabilité et le traitement des déchets). Ce rapport est imprimé sur un papier répondant aux exigences d'une gestion responsable.



Service géologique national

Géosciences pour une Terre durable

brgm

SIÈGE - CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
3 avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : (33) 2 38 64 34 34

www.brgm.fr

EuroGeoSurveys
The Geological Surveys of Europe