



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

SERVICE
GÉOLOGIQUE
NATIONAL
**RAPPORT
D'ACTIVITÉ
2023**



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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.



Le BRGM est chargé de la surveillance des eaux souterraines. Rivière souterraine de Malaval (Lozère).

© RÉMI FLAMENT

SOMMAIRE

STRATÉGIE

Message de la Présidente — 02

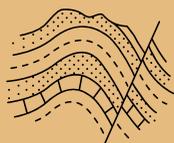
Temps forts 2023 — 04

Éclairages — 10



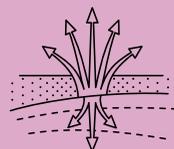
RESSOURCES
MINÉRALES
ET ÉCONOMIE
CIRCULAIRE

44



GÉOLOGIE ET
CONNAISSANCE
DU SOUS-SOL

16



TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE
ET ESPACE
SOUTERRAIN

52



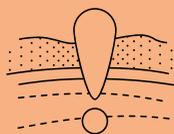
GESTION
DES EAUX
SOUTERRAINES

24



DONNÉES,
SERVICES ET
INFRASTRUCTURES
NUMÉRIQUES

60



RISQUES ET
AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE

32

ÉTABLISSEMENT

68 — Responsabilité sociétale
de l'entreprise

72 — Gouvernance

78 — Comptes 2023

82 — Groupe BRGM

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

www.brgm.fr





CATHERINE LAGNEAU

Présidente-Directrice générale

« Le BRGM est au cœur de l'actualité et des priorités nationales sur les enjeux majeurs de notre siècle. »

En 2023, le BRGM s'est trouvé au cœur de l'actualité et des priorités nationales sur les enjeux majeurs de notre siècle : l'adaptation au changement climatique et la nécessité d'une souveraineté énergétique et industrielle. Notre engagement s'est pleinement

démontré en France bien sûr mais aussi à l'international, sur tous les fronts :

- Les risques, exacerbés par le changement climatique, ont été au cœur de nos préoccupations avec de nombreuses collectivités territoriales qui nous ont sollicités en particulier sur l'aléa côtier ou le retrait gonflement des argiles ;
- L'eau : des outils d'anticipation à court, moyen et long terme ont été développés et notre recherche s'est développée pour anticiper les conséquences du changement climatique sur la ressource en eau, tout en promouvant des solutions d'adaptation telles que les solutions fondées sur la nature ; le bulletin de situation des nappes est devenu mensuel et même bimensuel lors de la crise sécheresse ;
- Les potentialités du sous-sol pour la transition énergétique : nous nous sommes mobilisés

pour caractériser le potentiel géothermal dans le cadre du plan national. L'inventaire national des potentiels de stockage de CO₂ en France a été lancé.

- Les ressources minérales pour accompagner les transitions écologique et numérique, et la souveraineté de notre pays : le président de la République a annoncé le lancement d'un nouvel inventaire des ressources minérales dans le cadre de la planification écologique de notre pays ; l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (OFREMI) a démarré et prouvé sa pertinence.

À l'international, avec plus de 7 M€ de signatures cette année, le partenariat avec l'AFD nous place en contributeur efficace de l'aide française au développement notamment sur la thématique de l'eau. Et notre implication en support de la diplomatie des ressources minérales se renforce.

Le BRGM a également œuvré dans le domaine numérique, élément clé de notre avenir, en participant à l'élaboration de la feuille de route France Nation verte.

2023 a mis en lumière les atouts du BRGM sur lesquels l'année 2024 s'appuiera :

- Nous avons signé un contrat d'objectifs, de moyens et de performance 2023-2027, remarquablement ambitieux. L'État s'est engagé à accompagner le développement du BRGM en y mettant des ressources nouvelles, c'est un véritable signe de confiance de nos ministères de tutelle ;
- Nos PEPR, pièces maîtresses de la programmation de la recherche nationale dans le cadre de France 2030, ont été



lancés. En copilotant trois d'entre eux (OneWater – sur l'eau, IRiMa – sur les risques, SOUSSOL) et en étant impliqués dans un quatrième (RECYCLAGE), nous contribuons à rassembler la communauté scientifique nationale autour de grands défis structurants pour notre pays. L'excellence de notre recherche interdisciplinaire, résolument orientée, en appui aux politiques publiques est ainsi reconnue ;

- Nous avons conforté une recherche et une expertise de haut niveau, indépendante et impartiale, reconnue et appréciée mais exposée aussi.

2023, c'est aussi une année marquée par un mouvement social d'ampleur, pour une reconnaissance salariale à la hauteur des engagements et des enjeux. Malgré ce mouvement, 2023, ce sont des contrats signés qui couvrent déjà deux années d'activité

devant nous, c'est un résultat net une nouvelle fois positif, c'est aussi près de 60 salariés qui nous ont rejoint. Malgré ce mouvement, les femmes et les hommes du BRGM sont restés incessamment mobilisés pour faire face à cette croissance qui reflète clairement une accélération des impacts du changement climatique. C'est leur implication, et l'excellence qu'ils portent, que vous allez découvrir dans les pages de ce rapport d'activité, qui démontre le besoin de science, notre utilité, et plus que jamais, une reconnaissance, une raison d'être.

En 2024, le BRGM va connaître une accélération des sollicitations sur tous les enjeux sociétaux qu'il couvre et être en soutien à la mise en œuvre de la stratégie climatique de l'État. Nous devons monter en puissance, portés par notre contrat d'objectifs, de moyens et de performance. Tous, nous porterons haut la flamme d'une science engagée au service de la société. ●

Temps forts 2023



2 FÉVRIER LE BRGM MOBILISÉ POUR LE PLAN D'ACTION GÉOTHERMIE

Dans le cadre du plan d'accélération des énergies renouvelables, Agnès Pannier-Runacher, ministre de la Transition énergétique, a présenté aux côtés de François Bayrou, haut-commissaire au Plan, le plan d'action du Gouvernement pour accélérer le déploiement de la géothermie.

Le BRGM va contribuer notamment aux actions suivantes :

- Finaliser la cartographie régionale des zones réglementaires de géothermie de minime importance ;
- Prévoir des adaptations réglementaires pour certaines solutions de géothermie de surface ;
- Poursuivre les travaux de collecte, d'analyse et de communication des données disponibles du sous-sol, notamment à travers l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour les échangeurs géothermiques verticaux ;
- Améliorer la connaissance du sous-sol pour favoriser le lancement de projets de géothermie profonde.

1^{ER} JANVIER LE BRGM PREND LA PRÉSIDENTIE D'EUROGEOSURVEYS

Au 1^{er} janvier 2023, Christophe Poinssot, directeur général délégué du BRGM, prend la présidence d'EuroGeoSurveys pour deux ans. Le BRGM, élément moteur de la construction européenne dans le domaine des sciences de la Terre et a participé à la création d'EuroGeoSurveys (EGS), l'association des services géologiques européens (37 membres) qui vient de fêter son 50^e anniversaire. Née à Orléans, EuroGeoSurveys est aujourd'hui domiciliée à Bruxelles, à proximité de la Commission européenne.

8 FÉVRIER RENOUVELLEMENT DE PARTENARIAT BRGM - SUEZ

L'accord signé entre Suez et le BRGM vise à mettre à profit leur complémentarité dans les domaines de l'eau et de l'environnement. Il traduit la volonté des deux organismes de renforcer et de pérenniser sur le long terme une coopération existante. L'accord couvre huit thématiques majeures : ressources en eau souterraine, recyclage des matériaux, métrologie, polluants émergents et isotopie, géothermie, captage et stockage (CO₂, CCUS, H₂), sols et sédiments pollués et refonctionnalisation, environnement minier et réhabilitation de sites miniers.

13 FÉVRIER LANCEMENT D'UN VASTE PROGRAMME DE RECHERCHE POUR UN USAGE DURABLE DU SOUS-SOL FRANÇAIS

Ce PEPR exploratoire nommé "Sous-sol : Bien commun", dirigé par le BRGM et le CNRS avec la participation de 35 institutions et laboratoires, et lancé le 13 février doit durer sept ans. Son ambition : identifier et anticiper les usages possibles du sous-sol français et mieux caractériser son potentiel. Cinq utilisations prioritaires du sous-sol ont été identifiées : les ressources minérales, la géothermie profonde, le stockage de gaz divers comme le CO₂, l'hydrogène ou le méthane, la recherche sur l'hydrogène natif, les infrastructures urbaines. Et cinq sites d'étude spécifiques ont été ciblés : le centre du Bassin parisien (gestion du sous-sol urbain), la Guyane (conflits d'usage), le "graben rhénan" (de géothermie profonde), le Bassin aquitain (stockage de géoressources émergentes et les usages énergétiques), le Massif central (potentiel minéral et géothermique). Pour chacun de ces usages, les scientifiques analyseront les potentiels et modéliseront la demande nationale future, ainsi que les conditions et impacts d'une exploitation éventuelle. Le programme doit également permettre de développer de nouvelles technologies d'exploration et d'exploitation, de mieux intégrer les contraintes environnementales, de prendre davantage en compte les questions sociales et économiques, et de faire progresser la gouvernance et les outils juridiques.



10 MARS ACCORD ENTRE LE BRGM ET LE SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL DU CONGO

À l'occasion de la visite d'État du président de la République en République Démocratique du Congo, Christophe Poinssot, directeur général délégué du BRGM, a signé le 4 mars 2023 un accord de partenariat bilatéral avec le Professeur Kampata Dona, directeur général du Service géologique national du Congo (SGN-C). Ce nouvel accord va permettre d'aider le SGN-C à déployer un système performant de gestion des données géologiques, d'améliorer la connaissance du sous-sol de la RDC et de travailler à la préparation de projets pilotes de mines responsables au service de la transition énergétique.



21 MARS LE BGR ET LE BRGM SIGNENT UN ACCORD POUR RENFORCER LEUR COOPÉRATION

À Dublin (Irlande), le président du BGR, Ralph Watzel, et le directeur général délégué du BRGM, Christophe Poinssot, ont signé un nouvel accord lors de la 54^e assemblée générale d'EuroGeoSurveys. Le BGR et le BRGM entendent plus particulièrement améliorer leur partenariat concernant les matières premières critiques et accroître l'échange de données et d'expertise entre la DERA, agence allemande des ressources minérales, et l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (OFREMI).



24 MARS INAUGURATION DE MIMAROC

Sur le centre scientifique d'Orléans, le BRGM a inauguré MIMAROC, une nouvelle plateforme de tomographie 4D. MIMAROC permet d'imager l'évolution de géo-matériaux, à l'échelle nanométrique dans des conditions représentatives de celles existantes dans le sous-sol. MIMAROC offre la possibilité d'observer le comportement d'échantillons géologiques soumis à différentes conditions thermo-hydro-mécaniques et chimiques, afin notamment de reproduire les conditions engendrées par les technologies utilisant le sous-sol. Les essais sont réalisés en 4D (incluant la dimension temporelle). Les modèles réalisés peuvent ensuite être utilisés pour prédire par exemple l'évolution d'un stockage souterrain d'énergie ou de déchets, ou encore la réinjection de fluides géothermaux dans un réservoir.

31 MARS SIGNATURE DU NOUVEAU CONTRAT D'OBJECTIFS, DE MOYENS ET DE PERFORMANCE (COMP) ÉTAT-BRGM 2023-2027

Le BRGM a signé avec l'État, le 31 mars 2023, son nouveau contrat d'objectifs, de moyens et de performance 2023-2027. Le nouveau COMP a été signé par les quatre ministères de tutelles du BRGM en présence notamment de : Sylvie Retailleau, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ; Roland Lescure, ministre délégué chargé de l'Industrie représentant le ministre de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique ; Cédric Bourillet, directeur de la direction générale de la Prévention des risques représentant le ministre de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires et la ministre de la Transition énergétique. Une politique scientifique ambitieuse en vue de mieux répondre aux contributions du sous-sol aux enjeux sociétaux, le développement de l'impact du BRGM sur la société par l'innovation et l'expertise, et un pilotage au service de la transition écologique et énergétique sont les lignes de force de ce COMP 2023-2027. Avec un vrai changement : l'engagement de moyens de l'État qui réaffirme avec force les missions confiées à l'établissement.

4 AVRIL LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS (SGP) ET LE BRGM RENFORCENT LEUR PARTENARIAT

Le BRGM et la Société du Grand Paris (SGP), responsables du futur métro Grand Paris Express, renforcent leur partenariat scientifique établi en 2020 en signant un nouvel accord. Celui-ci vise à exploiter les données du sous-sol collectées pour améliorer la compréhension du sol et du sous-sol, en vue de répondre à divers enjeux d'aménagement et de gestion du territoire francilien tels que l'alimentation en eau potable, la gestion des risques d'inondation, la qualité de l'eau, la géothermie, la géotechnique, etc. Deux conventions ont été signées : la première concerne la mise à disposition des données du Grand Paris Express, notamment l'accès à la base de données SONGE de la SGP et à sa carothèque. La seconde concerne la bancarisation dans la Banque du sous-sol (BSS) du BRGM des données de sondages provenant de la base de données SONGE.





12 AVRIL RÉSEAUX SOCIAUX: LE BRGM REMPORTE UN TOP COM D'OR

Le BRGM a été primé avec l'agence Néologis aux Top Com Grands Prix Corporate Business 2023, pour son programme "Ambassadeurs sur les réseaux sociaux". Depuis 2019, une centaine de salariés, scientifiques ou intervenant en support de ces derniers, ont été formés et accompagnés par l'équipe communication du BRGM. Objectif: donner à ces non-professionnels de la communication des clés pour améliorer leur expression sur les réseaux sociaux, et les encourager à publier. Basé sur le volontariat, ce programme permet de rendre plus visibles les projets scientifiques menés par le BRGM et les enjeux sociétaux majeurs sur lesquels il intervient. Le programme Ambassadeurs répond aussi à une demande des salariés, de plus en plus nombreux à publier sur les réseaux sociaux sur des sujets professionnels.

22 MAI LANCEMENT DU PEPR RISQUES IRIMA

Le 22 mai, le programme de recherche IRiMa (gestion intégrée des risques pour des sociétés plus résilientes à l'ère des changements globaux) co-piloté par le BRGM, le CNRS et l'université Grenoble-Alpes a été lancé à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris. Ce PEPR exploratoire, d'une durée de huit ans, rassemble plus de 30 institutions et laboratoires partenaires. IRiMa a pour objectif de formaliser une nouvelle « science du risque » pour contribuer à l'élaboration d'une stratégie de gestion des risques et des catastrophes et leurs impacts dans un contexte de changements globaux. Pour cela, il met en œuvre une série de recherches et d'expertises pour accélérer la transition vers une société capable de faire face à un ensemble de menaces, de s'adapter et d'être plus résiliente et plus soutenable. Son ambition sera de proposer des analyses et des outils innovants pour détecter, comprendre, quantifier, anticiper et gérer les risques et les catastrophes.



22 JUIN MOUVEMENTS DE TERRAIN D'ORIGINE KARSTIQUE: UN GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

Le BRGM et le Cerema ont édité un guide pour évaluer et cartographier l'aléa mouvements de terrain lié au karst. Il s'adresse aux acteurs de l'aménagement du territoire et de la construction. Ce guide, établi pour la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, s'articule autour de trois parties:

- Un état de l'art consacré à la description des systèmes karstiques (synthèse bibliographique).
- Une présentation des mouvements de terrain pouvant s'y produire en surface ainsi que les principaux facteurs (autrement appelés critères) qui en sont à l'origine.
- Une méthodologie d'évaluation de l'aléa, avec une présentation des données nécessaires à ce travail.

21 SEPTEMBRE PARUTION DU N°27 DE GÉOSCIENCES : « TRANSITION ÉNERGÉTIQUE, LES SOLUTIONS DU SOUS-SOL »

Le numéro 27 de la revue Géosciences du BRGM explore les solutions issues du sous-sol : géothermie (plan géothermie du gouvernement, géothermie en milieu urbain), stockage de CO₂, stockage de chaleur, hybridation de ces différentes solutions et des autres énergies renouvelables (solaire, biomasse, éolien...). Il aborde également l'accès aux ressources minérales, indispensables à la réussite de la transition énergétique. Enfin, ce numéro traite des conditions nécessaires pour développer l'exploitation du sous-sol dans le cadre de la transition énergétique, notamment la participation indispensable des publics aux décisions.



DU 10 AU 13 OCTOBRE SALON POLLUTEC 2023

Le salon Pollutec, événement de référence pour les professionnels de l'environnement, est aussi une vitrine des solutions environnementales pour l'industrie, la ville et les territoires. Le BRGM y a présenté son expertise sur son stand et lors de plusieurs conférences. Il a pu développer ses solutions pour la gestion des ressources en eau, la transition énergétique, les risques et l'adaptation au changement climatique, les déchets, l'économie circulaire et les sites pollués.

12 OCTOBRE ACCORD ENTRE LE SERVICE GÉOLOGIQUE DE MONGOLIE ET LE BRGM

À l'occasion de la visite d'État en France du président mongol du 10 au 13 octobre 2023, le BRGM a signé à l'Élysée avec l'ambassadrice Ulambayar Nyamkhuu et devant les deux chefs d'État, Ukhnaa Khutelsukh et Emmanuel Macron, un accord de partenariat avec le service géologique mongol, le National Geological Service (NGS). Cet accord doit permettre de construire différents projets d'intérêt commun permettant à la Mongolie de mieux connaître et valoriser ses ressources en métaux critiques.





13 OCTOBRE NOUVELLE-AQUITAINE: SIGNATURE D'UNE NOUVELLE CONVENTION 2022-2027 POUR LE SUIVI DE L'ÉVOLUTION DU LITTORAL

L'État, le conseil régional de Nouvelle-Aquitaine et leurs partenaires ont renouvelé leur soutien à l'Observatoire de la côte de Nouvelle-Aquitaine au travers d'une convention de partenariat couvrant la période 2022-2027. Co-financeur de l'observatoire et opérateur technique aux côtés de l'ONF, le BRGM interviendra autour de plusieurs axes stratégiques : assurer et optimiser les suivis et la surveillance de l'évolution du littoral ; apporter expertise et assistance aux acteurs de la gestion du littoral ; renforcer le centre de ressources régional sur la dynamique côtière et faciliter la mise à disposition des données ; partager les connaissances, valoriser et communiquer auprès des différents publics ; confirmer une organisation et un fonctionnement souples et adaptés.

20 OCTOBRE ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : UN ACCORD BRGM-MINISTÈRE DES ARMÉES

La collaboration entre le BRGM et le Service d'infrastructure de la Défense (SID) a été renouvelée pour 5 ans. Initié en 2017, l'accord qui lie le SID au BRGM structure la coopération scientifique entre les deux organismes en matière de recherche et développement, autour de plusieurs thématiques parmi lesquelles : l'amélioration des diagnostics pyrotechniques, la gestion et le réemploi des sables usagés des buttes de tir, la résilience des infrastructures à l'évolution du climat. Le BRGM contribue ainsi, dans son domaine d'expertise, à la résilience des forces armées françaises.



2 NOVEMBRE KAZAKHSTAN ET OUZBÉKISTAN: COOPÉRATION EN MATIÈRE DE MINÉRAIS STRATÉGIQUES

Catherine Lagneau, présidente du BRGM, était aux côtés du président de la République pour la visite d'État au Kazakhstan et Ouzbékistan. Une déclaration d'intention a été signée pour renforcer la coopération bilatérale dans le domaine des minerais stratégiques au service de la transition énergétique. Le BRGM contribuera au renforcement des échanges et des coopérations en matière de minerais stratégiques. L'objectif est de mettre en place des chaînes d'approvisionnement en minerais stratégiques qui soient résilientes, équilibrées et diversifiées, dans le respect de normes sociales, environnementales et de gouvernance rigoureuses.

INNOVATION

L'industrialisation comme nouvelle cible

Suivant l'évolution continue et naturelle du cycle de maturation des projets innovants introduit par le nouveau Contrat d'objectifs (COMP), l'industrialisation fait figure de nouvelle cible pour le BRGM. À côté de cette politique volontariste qui oriente désormais le pôle innovation, 2023 est aussi marquée par l'accélération de l'ouverture vers l'écosystème startups en France.

La prise de conscience est faite depuis plusieurs années déjà : il est nécessaire d'orienter le BRGM vers l'application concrète de la recherche en géosciences menée par les chercheurs et les ingénieurs. L'innovation est au cœur de nos missions, dans notre ADN.

Le BRGM a ainsi défini clairement ses axes de travail. Outre le développement d'une culture interne d'innovation et d'entrepreneuriat, ainsi que la protection et la valorisation de son patrimoine intellectuel, la maturation des projets et l'industrialisation, tout comme l'ouverture aux écosystèmes d'innovation sont les clés de l'innovation dans l'établissement. Après la création du pôle Innovation l'année précédente, 2023 a été marquée par un effort vers l'industrialisation des innovations d'une part, et l'ouverture aux startups d'autre part.

De la maturation à l'industrialisation

La maturation des concepts innovants à potentiel économique est entrée véritablement dans son rythme de croisière, avec 37 projets en cours. L'évolution continue de ce cycle de maturation des projets mène naturellement à l'industrialisation. Pour raffermir cette action, le BRGM mène une politique volontariste d'industrialisation des innovations, et oriente son pôle innovation vers une plus forte collaboration avec des industriels.

Cette stratégie orientée industrialisation se résume en quelques mots : il s'agit de trouver les moyens de mettre sur le marché une innovation par une montée à l'échelle avec soutien d'industriels. C'est un processus initié il y a cinq ans, avec maintenant son aboutissement logique en quelque



**VICTOR
LIGER**

Responsable
Innovation, Valorisation
et Transfert, Direction
de l'Innovation, des
activités commerciales
et de l'international
(DICI)

sorte. Il est formalisé par projets, et mené par la même équipe que la phase maturation et piloté par l'équipe innovation.

Cinq projets sont aujourd'hui en phase d'industrialisation, dont quatre passés en 2023, avec des objectifs devancés par rapport au contrat d'objectifs, de moyens et de performance 2023-2027. Citons parmi eux le projet CO₂ Dissolved avec SLB (lire « CO₂-Dissolved : vers un déploiement industriel et commercial » page 59), et la traçabilité des matières avec le groupe Trace.

Le développement de l'innovation avec les industriels passe aussi par des projets d'innovation conjointe ou de R&D partagée, le BRGM apportant sa capacité de recherche appliquée (lire l'encadré).

**« Cinq projets d'innovation
sont aujourd'hui en phase
d'industrialisation, dont
quatre passés en 2023 avec
des objectifs devancés
par rapport au contrat
d'objectifs, de moyens et de
performance 2023-2027. »**



Le BRGM, en partenariat avec l'IGN, a lancé en 2023 l'appel à candidatures INNEAUV. Le thème : s'appuyer sur les données pour développer des innovations répondant aux enjeux de l'eau. Il s'agit de protéger la ressource en eau, d'améliorer la connaissance sur l'information de l'eau, et de prévenir et gérer les risques associés à l'eau. 40 candidatures ont nourri cet appel, dont les résultats seront donnés en avril 2024.

Bati-SimulaTerre

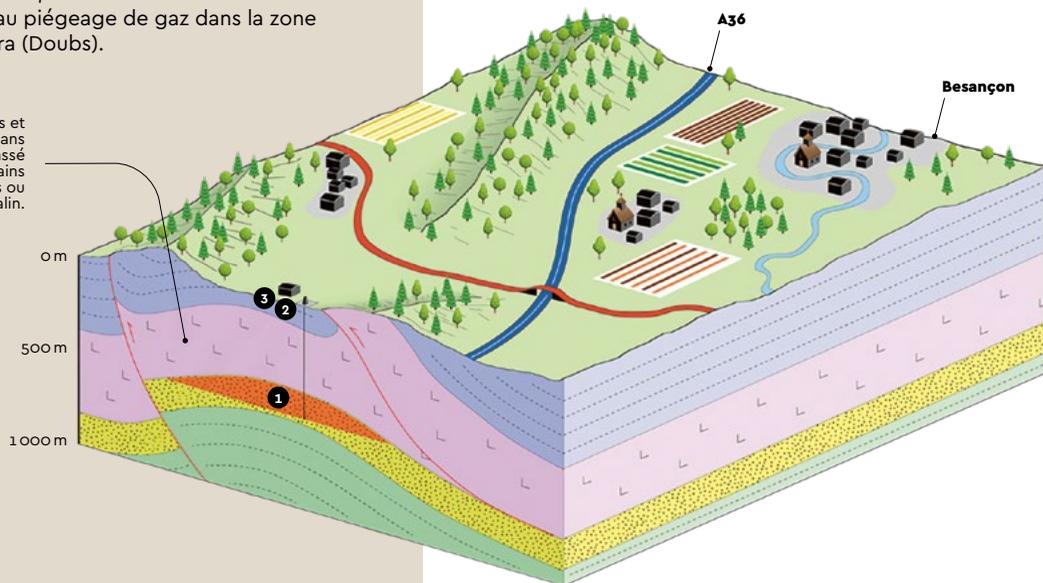
Dans le domaine de la prévention et la remédiation des impacts sur les bâtiments par le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux (RGA), le BRGM, avec Addactis et NamR, a construit le projet Bati-SimulaTerre qui vise à sensibiliser les propriétaires de biens immobiliers au risque RGA et à orienter leurs actions. Ce risque est identifié sur leur bien au travers d'un diagnostic à distance, et propose des mesures de prévention et protection adaptées. Cette solution, sous forme de plateforme distribuée en marque blanche aux assureurs et à d'autres acteurs, doit « révéler au plus tôt le risque réel pour déclencher l'action ».



Cet acteur de la transition écologique s'est donné pour mission de valoriser les ressources locales en hélium et hydrogène naturel. La nature innovante de son activité a conduit 45-8 ENERGY à mener des travaux de R&D avec des équipes de recherche, notamment avec le BRGM depuis 2020. Ce programme porte sur la mise en cohérence des données liées à la géométrie des architectures géologiques du sous-sol avec celles issues de campagnes mobilisant des outils géophysiques dans un modèle 3D. L'objectif : prouver l'existence de la ressource, et caractériser un contexte géologique favorable au piégeage de gaz dans la zone des Avant-Monts du Jura (Doubs).

Roches imperméables et composées de sel, exploitées dans la région au XIX^e siècle. Ce passé explique le nom de certains villages comme Miserey-Salines ou Mazerolles-le-Salin.

- 1 Contexte géologique favorable à l'accumulation à faible profondeur de gaz non-combustibles riche en hélium, gaz carbonique et azote, dans une roche poreuse et perméable, sous le sel.
- 2 Récupération des gaz par la réalisation de sondages de faible profondeur.
- 3 Séparation et valorisation des différents gaz dans une unité de production compacte, à très faible empreinte au sol.



PROJET DE VALORISATION DU GAZ RICHE EN HÉLIUM DE LA ZONE DES AVANT-MONTS

Source : Site institutionnel 45-8 ENERGY

Multiplier la collaboration avec des startups

Second axe de travail sur l'innovation en 2023 : le rapprochement avec l'écosystème startups. Il s'agit d'accélérer la collaboration avec les startups des secteurs liés aux sciences de la Terre. Pour ce faire, nous partons à la recherche de startups externes, au travers de concours comme INNEAUV, organisé avec l'IGN – Institut géographique national (lire l'encadré).

Sur ce plan, 2023 a fait l'objet d'une structuration de la collaboration externe et d'un renforcement de l'accueil. Parmi les principaux secteurs, citons l'imagerie satellitaire appliquée aux risques ou à l'eau par exemple, car les techniques y sont adaptées au savoir-faire du BRGM.

De leur côté, les startups trouvent un intérêt à exploiter des données du BRGM, mais aussi à travailler avec nos chercheurs dans une R&D commune, comme c'est notamment le cas avec NamR (lire l'encadré).

Toutes ces actions visent à aller au bout de la vocation d'application du BRGM en facilitant la valorisation des expertises et des concepts innovants du BRGM vers le monde socio-économique. ●

INVENTAIRE DES RESSOURCES MINÉRALES

Lancement de l'actualisation de l'Inventaire national des ressources minérales du sous-sol français

Pour répondre aux enjeux de souveraineté nationaux et communautaires relatifs à l'approvisionnement en ressources minérales critiques, une mise à jour de l'Inventaire stratégique des ressources minérales du sous-sol français a été décidée par le président de la République et confiée au BRGM. Des chantiers territoriaux ont été identifiés et seront couverts par des campagnes d'acquisitions de données. Le projet d'une durée initiale de cinq ans sera financé dans le cadre de France 2030 et de l'ANR.

Dans le contexte de l'adoption européenne du CRM Act en décembre 2023, et en cohérence avec les impulsions politiques lancées en France à la suite du « rapport Varin », le président de la République a annoncé en septembre 2023 lors du Conseil de planification écologique, la mise à jour de l'Inventaire des ressources minérales (IRM) du sous-sol français. Cette initiative vise à identifier les zones susceptibles d'abriter des ressources minérales d'intérêt dans le but de réduire notre dépendance vis-à-vis des importations de matières premières et secondaires. De plus, cette mise à jour est conçue pour garantir la sécurité et la souveraineté de la nation en matière d'approvisionnement en ressources minérales tout en promouvant une utilisation plus efficace et durable de ces ressources, ce qui contribuera à renforcer la résilience de notre économie.

L'inventaire minier de référence a en effet été réalisé entre 1970 et 1995 et est obsolète pour plusieurs raisons :

- Plus de 30 % des « zones d'intérêt prospectif » (domaines de socle et leurs bordures mésozoïques) n'ont pas été étudiées lors du précédent exercice (Cassard *et al.*, 2012; Bertrand *et al.*, 2016) du fait de l'existence à l'époque de permis exclusifs de recherche (PER) détenus par des opérateurs privés sur ces zones.
- Les techniques d'exploration minérales ont considérablement évolué ces dernières années, profitant des avancées



CHRISTOPHE POINSOT

Directeur général délégué et directeur scientifique



BLANDINE GOURCEROL

Ingénieure chercheur métallogéniste

technologiques majeures qui ont vu le jour depuis les années 1980 (par exemple, les levés géophysiques à grande échelle, les techniques analytiques en géochimie).

- L'inventaire des années 1980 était focalisé sur certaines substances qui correspondaient aux priorités de l'époque. De nombreuses autres substances, considérées aujourd'hui comme critiques et stratégiques n'ont été ni recherchées, ni analysées (Lithium, Tantale, Césium, Gallium, Germanium, Hafnium...) ou avec des limites de détection bien trop élevées pour permettre l'identification d'anomalies géochimiques. Le futur inventaire corrigera ce biais important.

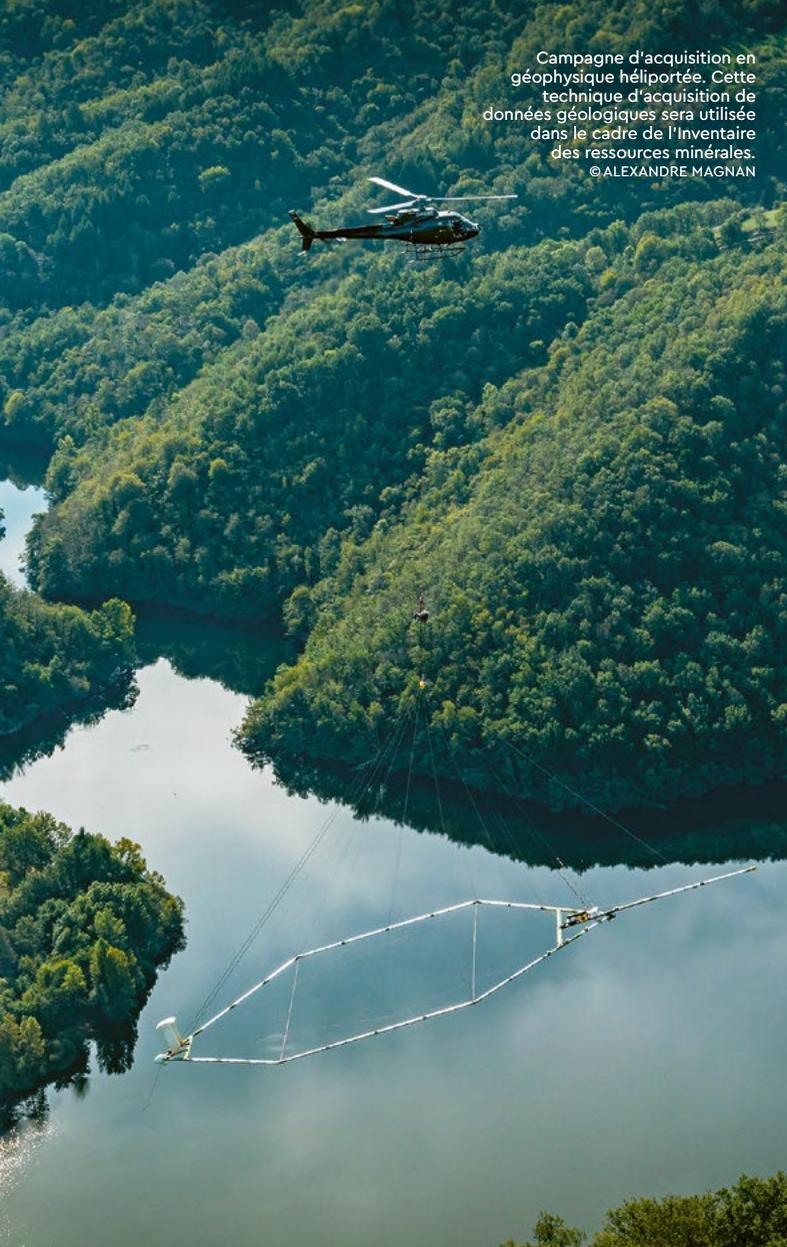
Dans cette optique, l'objectif majeur du projet IRM est de se concentrer spécifiquement sur les phases d'exploration stratégiques visant à identifier les secteurs les plus favorables à la présence de ressources minérales.

Les défis à relever

Le succès de ce nouvel inventaire d'envergure nationale nécessitera de relever plusieurs défis :

- Déployer sur le territoire des campagnes d'acquisition terrestres et aéroportées conséquentes d'un point de vue logistique.
- Mobiliser et coordonner un écosystème français dispersé, faute d'activité régulière sur le territoire hexagonal depuis une trentaine d'années.

Campagne d'acquisition en géophysique héliportée. Cette technique d'acquisition de données géologiques sera utilisée dans le cadre de l'Inventaire des ressources minérales.
© ALEXANDRE MAGNAN



« L'actualisation de l'Inventaire national des ressources minérales est conçue pour garantir la sécurité et la souveraineté de la nation en matière d'approvisionnement en ressources minérales tout en promouvant une utilisation plus efficace et durable de ces ressources. »

Les différentes méthodes de travail (ex. : géochimie, géophysique, géologique) devront permettre d'identifier des gisements « cachés sous couverture » (et donc non détectables en surface) et jamais identifiés dans le passé, ou des extensions, en profondeur, de gisements historiquement identifiés.

Le projet a ainsi été façonné afin de prendre en compte les éléments suivants :

- Une mise en œuvre opérationnelle rapide, avec un démarrage fin 2024 et cinq ans pour réaliser le projet.
- La publication régulière de résultats/livrables tout au long du processus.
- L'adoption des approches et technologies les plus performantes et innovantes pour optimiser la qualité des résultats, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle et des sciences de la donnée.
- L'établissement de collaborations étroites avec l'écosystème français de la recherche et des entreprises innovantes, et le réseau international des Services géologiques.
- L'assurance d'une agilité indispensable pour assurer une réactivité suffisante en vue de la réalisation du projet.

Le BRGM sera seul porteur du programme. Il s'appuiera, pour réaliser ces travaux, sur divers sous-traitants dont, en particulier, une filiale nommée BRGM EXPLORE qui sera chargée de la mise en œuvre opérationnelle du programme technique, le BRGM en assurant pour sa part le pilotage administratif, financier et scientifique (innovation, interprétation, diffusion).

Pour assurer la mise en œuvre opérationnelle, la filiale pourra elle-même s'appuyer sur des sous-traitants spécialisés, en particulier pour ce qui concerne la réalisation des vols aéroportés, la collecte des échantillons de sédiments et leurs analyses multi-élémentaires en laboratoires. ●

- Créer de la valeur ajoutée et de l'innovation de pointe avec une approche dynamique et ouverte aux partenariats.
- Accompagner ces travaux d'une communication efficace et d'une médiation scientifique adaptée permettant d'expliquer les moteurs politiques, économiques et sociétaux ainsi que les détails techniques de l'action entreprise.

L'organisation

Le BRGM a mené un travail de préfiguration de l'IRM en collaboration avec la Délégation interministérielle aux approvisionnements en minerais et métaux stratégiques (DIAMMS), la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature (DGALN) et le Secrétariat général pour l'investissement (SGPI). Le programme technique de l'IRM a été arbitré en se basant sur des critères pluridisciplinaires intégrant à la fois les priorités scientifiques et celles des politiques publiques. Il en résulte un programme visant à maximiser l'identification des gisements d'intérêt tout en assurant la cohérence avec les politiques territoriales.

STRATÉGIE

France 2030 : le BRGM pleinement engagé dans le copilotage de trois programmes de recherche nationaux

Le BRGM copilote désormais trois de ces programmes, sur le sous-sol et ses usages (SOUS-SOL), sur la gestion de l'eau en contexte de changement climatique (OneWater) et sur la science des risques (IRiMa). Ils représentent un soutien de plus de 175 M€ sur sept à dix ans pour la communauté scientifique nationale. Il est également partenaire du programme national sur le recyclage.

Le BRGM copilote désormais trois programmes nationaux de recherche de grande ampleur soutenus par France 2030. Il est également partenaire du PEPR sur le recyclage en charge de l'axe stratégique sur les métaux critiques. La mise en place de ces grands programmes de recherche souligne la prise en compte croissante par l'État et la société française du besoin de mieux gérer l'espace souterrain, ses usages, ses ressources et les risques associés.

2023 a été marquée par le lancement opérationnel de ces trois programmes. Cela représente un travail important impliquant des dizaines de laboratoires de recherche sur tout le territoire, d'organismes nationaux de recherche et d'universités. Ces programmes de recherche sont financés à hauteur de 175 M€ sur sept à dix ans par France 2030. Chacun de ces programmes est composé d'un ensemble de projets qui ont été finalisés et contractualisés dans l'année.

Pour le BRGM, ces programmes appuient une large partie de son action scientifique, comme la connaissance du sous-sol national, les usages énergétiques, les ressources minérales, la gestion des risques naturels et bien évidemment la gestion des eaux souterraines.

Ils ont été sélectionnés par un jury international, dans un appel ouvert à toutes les sciences. Cela démontre combien les problématiques portées par le BRGM sont au cœur des enjeux sociétaux actuels et constituent des thèmes de recherche au plus haut niveau scientifique.

Le programme SOUS-SOL : Bien commun

Le sous-sol, de 1 m à 5 km sous la surface est la zone d'interaction entre la Terre solide et les activités humaines. C'est un milieu physique qui accueille de nombreuses



CHRISTOPHE POISSOT
Directeur général délégué,
Directeur scientifique



PHILIPPE FREYSSINET
Directeur de la Recherche, de la Programmation scientifique et de la Communication

infrastructures humaines et l'ensemble de nos ressources naturelles exploitables. Le monde souterrain est essentiel pour la transition énergétique : recherche de nouvelles ressources minérales indispensables aux technologies bas carbone, utilisation du potentiel géothermique du sous-sol pour remplacer le chauffage au gaz, ou encore stockage géologique de chaleur, de froid et de gaz (CO₂, hydrogène...). D'autre part, la densification urbaine nécessite une meilleure prise en compte du sous-sol dans les stratégies de développement.

Le programme copiloté avec le CNRS cible plusieurs régions comme le Massif central et la Guyane pour leurs ressources minérales, le Bassin de Paris pour les questions d'aménagement, le Bassin aquitain pour les stockages de subsurface ou encore l'Alsace pour ses ressources géothermales. Les chercheurs de différentes disciplines vont travailler ensemble sur quelques grandes zones d'intérêt du territoire afin d'améliorer la connaissance du sous-

sol, de co-construire avec les différentes parties prenantes des scénarios d'usages et de modéliser leur impact.





Image 1 — Lancement du PEPR "SOUS-SOL : Bien commun", le 18 janvier 2023 dirigé par le BRGM et le CNRS avec la participation de 35 institutions et laboratoires sur sept ans. ©BRGM - P. VASSAL

Image 2 — Le 22 mai 2023, le programme de recherche IRiMa (gestion intégrée des risques pour des sociétés plus résilientes à l'ère des changements globaux) co-piloté par le BRGM, le CNRS et l'université Grenoble-Alpes a été lancé à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris. ©BRGM - P. VASSAL

Le programme IRiMa (Integrated risk management)

Le changement climatique ou d'autres risques naturels combinés à des risques technologiques sont des enjeux de recherche très transdisciplinaires, encore peu explorés et pourtant essentiels pour notre société. Le programme IRiMa a pour objectif de structurer en France une « science du risque ». Il vise à élaborer de nouveaux concepts de gestion des risques et des catastrophes et leurs impacts, notamment dans un contexte de changement climatique. Le programme ambitionne d'intégrer les savoirs issus des géosciences, de l'ingénierie, du numérique et des sciences sociales pour traiter de manière systémique la gestion des risques naturels et technologiques. Il s'agira de proposer de nouveaux outils innovants afin de mieux détecter, comprendre, quantifier, anticiper et gérer les risques et les catastrophes. La question des effets en cascade combinant des risques naturels, environnementaux, technologiques, sanitaires et biologiques sera particulièrement étudiée.

Le programme doté de 52 M€ sur huit ans, copiloté par le BRGM, le CNRS et l'université Grenoble-Alpes est construit autour d'un consortium national fédérant les grandes universités et les organismes nationaux de référence agissant dans le domaine des risques naturels, technologiques et environnementaux.

Le programme OneWater

La France a été pionnière dans le monde pour la mise en place d'une gouvernance par bassin hydrographique, mais le postulat que tout pouvait être résolu à l'échelle du bassin s'érode. Avec le changement global, les pressions naturelles et anthropiques sur les ressources en eau sont exacerbées et deviennent un défi majeur pour nos sociétés au XXI^e siècle : il est urgent d'agir maintenant et à tous les niveaux. Le global rattrape le local et de nouveaux

questionnements apparaissent. Ces défis doivent être pris en charge par des approches plus intégrées, systémiques, multi-acteurs pour co-construire des solutions adaptées à des réalités contrastées.

Le programme OneWater-Eau Bien Commun, doté de 53 M€ sur 10 ans est copiloté par le BRGM avec le CNRS et l'INRAE. Ce programme vise à changer de paradigme en plaçant l'eau comme bien commun, élément central des socio-écosystèmes soumis à des forçages climatiques et anthropiques.

Le programme Recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux recyclés

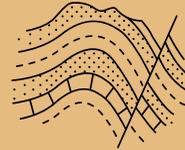
Ce programme vise à relever certains défis écologiques, économiques et technologiques pour une transition vers une économie plus circulaire et respectueuse de l'environnement. Le BRGM y pilote l'axe dédié aux métaux stratégiques de ce programme coordonné par le CNRS et doté de 40 M€. ●

LES PEPR

Ils sont élaborés dans le cadre de France 2030, destiné à accélérer et structurer la recherche et l'innovation et à consolider un leadership français. Les programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) visent des secteurs scientifiques ou technologiques considérés comme émergents et pour lesquels l'État français souhaite structurer la communauté des chercheurs. Les PEPR exploratoires sont issus d'une sélection par un jury international dans le cadre d'un appel lancé par l'Agence nationale de la recherche (ANR).



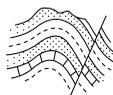
Acquisition d'électromagnétisme aéroporté dans le Massif central. © Alexandre MAGNAN



GÉOLOGIE ET CONNAISSANCE DU SOUS-SOL

Affiner la connaissance du sous-sol pour optimiser ses usages et ses ressources

L'enjeu est d'améliorer la représentation du sous-sol et de ses usages en investiguant, en diffusant et en affinant la connaissance géologique au niveau national mais également à l'international. Le BRGM vise en effet à fournir une information toujours plus complète et précise, qui doit aussi être directement exploitable pour favoriser le développement d'usages diversifiés et durables du sous-sol et de ses ressources. Il mobilise ainsi les dernières avancées scientifiques et technologiques en matière d'investigation du sous-sol, en particulier un large panel de techniques géophysiques qui permettent de mieux caractériser la forme et la nature des structures géologiques.



RÉSULTAT REMARQUABLE

Le plateau continental, un domaine à ré-investiguer face à des enjeux croissants

Spécialiste du sous-sol, le BRGM développe également son expertise sur les territoires maritimes proches des terres. L'amélioration de la connaissance géologique de ces secteurs à fort potentiel contribue à apporter des éléments de réponse et une aide à la décision dans le cadre de projets liés à l'aménagement du territoire, la prévention des risques, la transition énergétique, la décarbonation et les ressources minérales.

Le « plateau continental » ? Au sens morphologique, il désigne l'objet géologique qui s'étend sur le domaine maritime depuis le littoral jusqu'à 200 mètres de profondeur d'eau environ. Une zone qui concentre divers enjeux et activités : la pêche, le transport, le tourisme, une population croissante sur la bande côtière, mais aussi la transition énergétique avec le développement des énergies marines renouvelables (EMR) et la décarbonation par le stockage géologique du CO₂, sans oublier les granulats marins destinés à des usages variés.

Dans ce contexte, l'amélioration continue de la connaissance géologique du plateau continental est primordiale pour l'aménagement durable du territoire et la limitation au maximum de l'impact sur le milieu naturel, pour la définition et la gestion des aléas et des risques (séisme, submersion, tsunami, biseau salé, érosion du littoral) pouvant affecter la population et les infrastructures, ainsi que pour l'utilisation des ressources en matériaux (par exemple le réensablement des plages), des capacités de stockage du CO₂ ou géothermiques du sous-sol. « *L'objectif, pour nous, est de pouvoir répondre le plus efficacement possible, grâce à un socle de savoirs et d'expertises, aux sollicitations de plus en plus nombreuses des pouvoirs publics, des industriels, des acteurs académiques et du grand public sur ces thématiques, avance Isabelle Thinon, géologue-géophysicienne. Cette connaissance géologique du plateau continental et*



ISABELLE THINON

Chercheuse,
géologue-
géophysicienne

du continuum terre-mer nous permet également de fournir à nos collègues du BRGM des contraintes pour des études plus appliquées. »

Acquérir de nouvelles données

Des actions, financées sur fonds propres, sont menées pour acquérir et valoriser de nouvelles données géophysiques et géologiques. « *Nous ciblons principalement des zones jusque-là peu investiguées, dont nous pressentons qu'elles répondront à des besoins à l'avenir* », indique Isabelle Thinon. C'est le cas, ces dernières années, de certains territoires outre-mer (Guyane, Mayotte) et autour de la métropole, notamment la baie de Seine et au large de la Charente-Maritime. « *Sur ce secteur, nos travaux ont abouti à l'identification des structures tectoniques (failles majeures, plis) et de leurs caractéristiques (âge du dernier mouvement, type de failles...) au large des îles de Ré et d'Oléron, ainsi qu'à la mise en évidence de l'importante hétérogénéité spatiale des formations géologiques du substratum.* » Des informations qui ont été utilisées pour l'analyse de la sismicité régionale terre-mer et pour des projets d'aménagement.

Pour obtenir des données de bonne qualité sur le sous-sol du domaine maritime, des moyens à la mer, des outils performants ainsi que des conditions météorologiques favorables sont nécessaires. Les campagnes en mer effectuées ces dernières années ont permis d'acquérir, entre

Fin d'acquisition d'un profil de sismique réflexion haute résolution. Remontée de la source sismique sparker (peigne) par notre équipe.
© BRGM



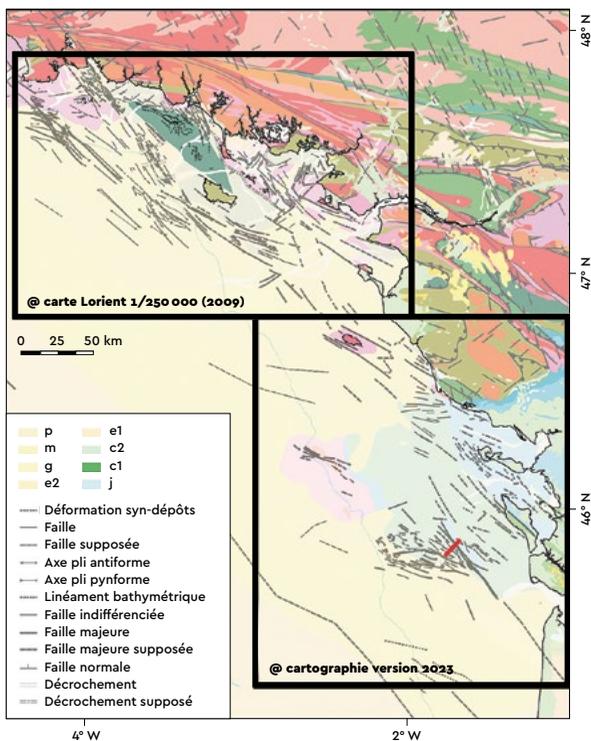


Image 1 — Synthèse cartographique des structures tectoniques (version 2023) identifiées sur le plateau continental façade atlantique, principalement à partir de l'interprétation des profils de sismique réflexion. Le schéma structural sud Bretagne est extrait de la carte géologique au 1/250 000 (feuille Lorient) réalisée en 2008. Celui au large des Charentes est en cours de réalisation. © BRGM

Image 2 — Exemple de profil de sismique réflexion haute résolution interprété (en temps) de la campagne GIROPAL (2018, <https://doi.org/10.17600/18000525>), montrant l'architecture du sous-sol sous le fond marin du plateau continental au large d'Oléron. On notera la présence de failles majeures avec des rejets verticaux apparents plurimétriques (traits noirs) décalant de part et d'autre les formations de la couverture sédimentaire (horizons sismiques en couleur). © BRGM

« L'objectif, pour nous, est de pouvoir répondre le plus efficacement possible, grâce à un socle de savoirs et d'expertises, aux sollicitations de plus en plus nombreuses des pouvoirs publics, des industriels, des acteurs académiques et du grand public sur les thématiques associées au plateau continental. »

◀ 1

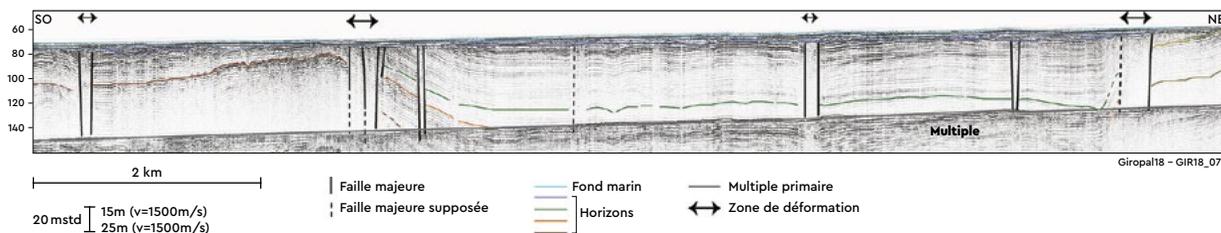
... autres, des données de sismique réflexion marine qui fournissent, après traitement et interprétation, la géométrie des formations du sous-sol sous le fond marin. « Pour contraindre et valider les interprétations de ces données géophysiques, nous tentons de prélever des roches par carottage ou dragage, lorsque c'est possible, précise Fabien Paquet, géologue. Le plus souvent, nous utilisons les logs géologiques des forages réalisés par des tiers (pétroliers...) dans le cadre d'études appliquées, ainsi que la connaissance géologique du territoire émergé sur le littoral. » « Nous sommes preneurs de toutes les données existantes pour pouvoir densifier les observations et ainsi proposer des cartes géologiques les plus actualisées et contraintes possibles », ajoute Isabelle Thinon. D'où les collaborations scientifiques et techniques diverses et multiples que le BRGM développe avec des acteurs académiques, des instituts de recherche, des industriels et des services de l'État.

Des missions d'appui diversifiées

La connaissance géologique du plateau continental est mise à disposition notamment sous la forme de cartes géologiques régionales terre-mer. Concernant

la Charente-Maritime, la carte géologique à l'échelle 1/250 000 est en cours de réalisation, dans la continuité de la carte du plateau Bretagne sud (feuille Lorient) publiée en 2008. Dans la même collection, la carte de la baie de Seine est en révision pour édition, la carte de la Corse est disponible en vecteur et la carte Golfe du Lion-Provence est en cours de finalisation.

Ces dernières années, le BRGM a apporté son appui pour la connaissance géologique et le listing des aléas potentiels en amont de l'aménagement de parcs éoliens offshore, pour l'analyse du potentiel géothermique, des capacités de stockage du CO₂ et de la sismicité de certaines zones, mais aussi dans la gestion de crise (par exemple la crise sismique à Mayotte). Il a par ailleurs signé, en 2023, deux conventions avec l'État qui l'amèneront à apporter son expertise géologique dans les domaines des EMR et des granulats marins. ●



◀ 2



MARION DECAMPS

Chef de service CAT au sein de la DIIREM
(Direction ingénierie interconnexions et réseau en mer)
chez RTE Réseau de Transport d'Électricité

« Pour "dérisquer" le raccordement de parcs éoliens en mer sur le plateau continental, il faut une appréhension du risque sol. Les connaissances du BRGM nous sont indispensables, et sa bibliothèque publique de données sur le sous-sol est une richesse exceptionnelle pour RTE. »

Quelles problématiques scientifiques rencontrez-vous sur le plateau continental ?

MARION DECAMPS — Le plateau continental, qui s'étend sur le domaine maritime du littoral jusqu'à environ 200 mètres de profondeur, est l'objet, depuis plus de dix ans, du développement des énergies renouvelables en mer. C'est dans ce contexte qu'évolue RTE, gestionnaire national du réseau de transport d'électricité et maître d'ouvrage du raccordement de l'ensemble des parcs éoliens en mer français. La DIIREM, Direction de l'ingénierie des interconnexions et du réseau en mer, pilote les projets de développement, incluant les différentes études nécessaires au dérisquage des sites d'installation de nos ouvrages, jusqu'à leur mise en service. Ce dérisquage est multiple et extrêmement complexe. Dans toutes nos études de raccordement, nous devons donc connaître la géologie du plateau continental et ses aléas.

Quelle expertise recherchez-vous au BRGM ?

M.D. — Le dérisquage et le choix d'infrastructures pour le raccordement de l'éolien en mer nécessitent une étude approfondie de la cartographie

des couches du plateau continental pour mieux appréhender le risque sol. Les connaissances du BRGM, que nous utilisons déjà pour nos projets terrestres, nous sont donc désormais tout aussi indispensables sur le domaine maritime.

Quel intérêt concret pour vos travaux ?

M.D. — L'intérêt principal est dans le partage de données valables et validées avec un organisme scientifique et reconnu comme le BRGM, pour toute analyse de risque. Nous organisons pour cela des entretiens réguliers avec leurs équipes. Mais nous échangeons aussi sur de nouvelles voies de collaboration, en lien par exemple avec l'étude des phénomènes d'érosion du trait de côte ou encore nos futurs postes électriques en mer, qui pourraient permettre l'installation embarquée de capteurs sismiques dans des zones d'intérêt pour le BRGM, pour affiner sa connaissance sur le sujet. Les données récoltées seraient transmises en open data *via* notre réseau de fibre optique présent dans les câbles et bénéficieraient à tous. Une bibliothèque publique de données capitalisées, précises et tenues à jour sur la connaissance du sous-sol telle que celle du BRGM est et constituera donc encore pour longtemps une richesse exceptionnelle pour RTE. ●



Levé de terrain dans l'unité métamorphique de la Boghen (Nouvelle-Calédonie).
© BRGM - L. ALIZERT

ÉVALUATION DES RISQUES GÉOLOGIQUES DANS LE NORD DE LA GUYANE

En septembre 2023, le BRGM a supervisé, pour le compte des services de l'État en Guyane, une campagne de géophysique aéroportée dans les zones de l'île de Cayenne, Roura, Cacao et Macouria. Les données magnétiques et électromagnétiques acquises au cours de ces vols sont en cours d'exploitation pour produire une imagerie du sous-sol en trois dimensions, jusqu'à 300 mètres de profondeur. Cette meilleure connaissance de la structure géologique du nord de la Guyane permettra de mieux évaluer les risques de glissement de terrain et aidera à l'aménagement du littoral, très changeant.

LE FUTUR RÉFÉRENTIEL GÉOLOGIQUE DE LA NOUVELLE-CALÉDONIE, UN INVESTISSEMENT POUR L'AVENIR

Le BRGM a signé une convention avec le Service de géologie de la Nouvelle-Calédonie (SGNC) pour l'appuyer dans la construction du référentiel géologique de la Nouvelle-Calédonie (RGC) grâce à son savoir-faire acquis à travers le référentiel géologique de la France en termes d'outils et de méthodes. Son intervention aidera le SGNC à rationaliser les connaissances du sous-sol néo-calédonien et à les valoriser par l'intégration continue des anciennes et des nouvelles acquisitions géologiques. Une donnée fiable, actualisée et pertinente sur l'ensemble du territoire pourra ainsi être mise à disposition.

UN PROJET CICO EN APPUI AU PER AVANT-MONTS FRANC-COMTOIS

Faisant suite au projet « PER (permis exclusif de recherche) Fonts-Bouillants », le projet « PER Avant-Monts Franc-Comtois » a démarré au printemps 2023. Liant le BRGM à la société 45-8 Energy, spécialisée dans l'exploration et la production d'hélium et d'hydrogène, il repose sur un contrat de type CICO (Crédit d'impôt collaboration de recherche) particulièrement intéressant pour l'entreprise qui peut récupérer, en crédit d'impôt, de 40 à 50 % des dépenses éligibles d'un projet qui conserve une orientation recherche.

Le projet consiste en une série d'acquisitions géophysiques au sol et aéroportées visant à alimenter un modèle géologique 3D de la zone couverte par le PER, basé sur les données existantes. L'objectif est d'y intégrer la connaissance géophysique et, de manière itérative, d'assurer et maintenir la cohérence et l'intégrité des deux approches. Ce programme doit fournir une compréhension avancée des structures (failles et réservoirs) et des propriétés pétrophysiques du sous-sol qui permette à 45-8 Energy d'orienter ses prospections par forage prévues en 2024.



Opérateurs pour la mesure de points gravimétriques et de points GPS.
© BRGM

D'OÙ PROVIENT LE RADON DÉTECTÉ DANS DES ZONES CARBONATÉES ?

Alors que la cartographie historique du radon-222 en France attribue des niveaux élevés aux environnements cristallins, on en détecte dans le sol de certaines zones carbonatées, dans des proportions similaires. Cherchant à comprendre l'origine de ces concentrations atypiques, le BRGM et l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) ont mené une étude dans les secteurs de Fourbanne et des Grands Causses. Résultat : ce sont des sources extérieures à ces terrains qui contiennent les éléments radioactifs, la teneur des roches carbonatées et de leurs altérations étant très faible. Dans les Grands Causses, la principale source à l'origine du triptyque radon222-radium226-uranium 238 dans les sols est la bauxite. Ce résultat est corroboré par l'histoire post-dépôt de ces massifs carbonatés, marqués par une altération sous couverture, à l'origine d'une karstification ayant permis le soutirage de la couverture sédimentaire allochtone au sein même du massif carbonaté. Quant à Fourbanne, les mêmes mécanismes sont à l'œuvre et les éléments radioactifs semblent aussi provenir de la fraction détritique riche en minéraux lourds, dont on ignore encore la source.



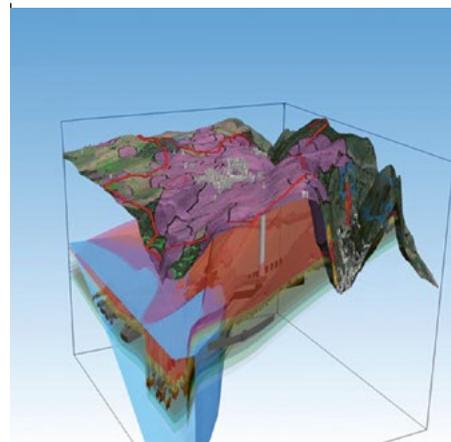
Doline sur le Causse Sauveterre dont le sol labouré est principalement issu de dépôts bauxitiques.
© BRGM - E. HUSSON

MIEUX COMPRENDRE LA KARSTIFICATION DES RÉSERVOIRS DU BASSIN DE PARENTIS

Le bassin de Parentis contient le plus gros gisement d'huile en France, à plus de 2 000 mètres de profondeur. L'entreprise Vermilion projette la réalisation d'une étude pour caractériser les niveaux carbonatés connus pour être faillés, diagénétisés et karstifiés, qui renferment l'essentiel de ces réserves résiduelles. Le BRGM s'y associe pour, de son côté, mieux comprendre les phénomènes de karstogénèse et les géométries associées à la karstification. Ce projet de recherche et développement, mené suivant une approche pluridisciplinaire associant les méthodes et les concepts les plus récents, permettra de mieux appréhender la karstification de ces réservoirs et ainsi d'améliorer les modèles géologiques et leur utilisation à des fins prédictives.

FORGEO POUR UN NOUVEL OUTIL DE MODÉLISATION MODULABLE

Produisant depuis quarante ans des modèles géologiques à partir d'outils spécialisés, dont plusieurs développés en interne, le BRGM travaille, dans le cadre du projet ForGEO, à la fusion dans un même environnement de GDM Multilayer (modélisation « multicouche » des formations géologiques) et GeoModeller (modélisation des structures complexes). Des briques logicielles ont été redéveloppées pour fournir une alternative opérationnelle aux outils historiques mais également créer un environnement modulaire et évolutif, recomposable suivant les besoins de production. Adapté aux moyens de calcul modernes, celui-ci pourra en outre servir d'incubateur pour des projets de recherche.

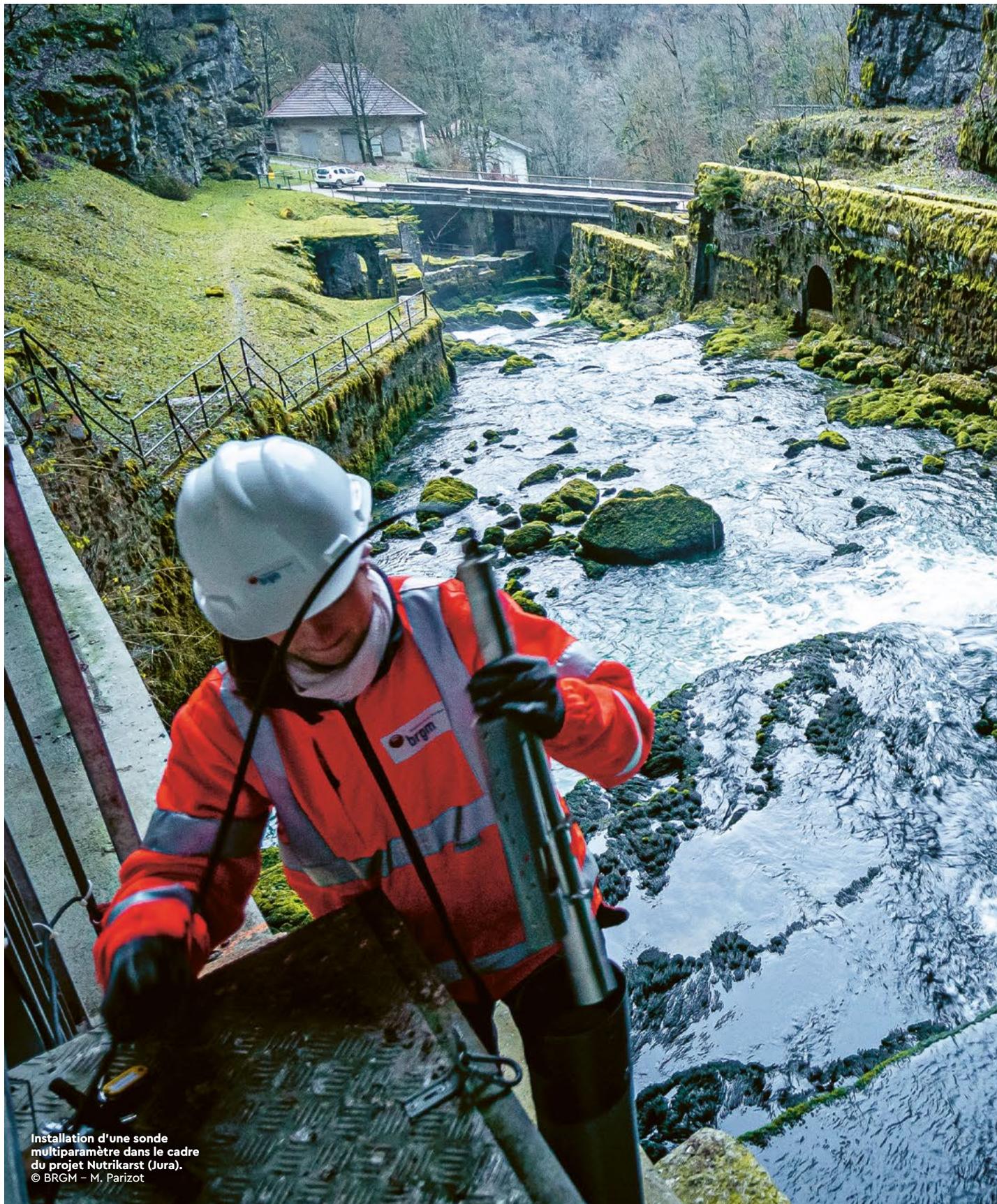


Formation

- | | |
|---|--|
|  Couverture |  Couche grise |
|  Couche rouge principale |  Couche brune |
|  Couche jaune supérieure |  Couche noire |
|  Couche jaune principale |  Couche verte |

Modèle 3D du sous-sol de la commune d'Angevillers (57) mettant en scène la topographie habillée, les horizons géologiques ferrifères (toits et volumes) ainsi que les zones d'exploitation minières (zones homogènes exploitées). Les surfaces modélisées sont issues d'un modèle généré et visualisé avec les outils de ForGEO.

© BRGM



Installation d'une sonde multiparamètre dans le cadre du projet Nutrikarst (Jura).
© BRGM - M. Parizot



GESTION
DES EAUX
SOUTERRAINES

Gérer les eaux souterraines pour s'adapter au changement climatique

Le scénario d'un réchauffement climatique global à +3°C à la fin de ce siècle devient probable, avec des effets significatifs sur le grand cycle de l'eau. Pour le BRGM, ces changements impliquent d'évaluer les impacts, les risques associés et de proposer des solutions permettant de suivre et d'optimiser la recharge des nappes et leurs usages. Dans ce contexte, la qualité des eaux souterraines est également une priorité. Le BRGM mène ainsi des recherches sur les processus de résilience des nappes face au changement climatique et étudie l'effet de solutions basées sur la nature, en appui à des politiques de gestion durable de la ressource en eau dans les territoires.



RÉSULTAT REMARQUABLE

Solutions fondées sur la nature : une boîte à outils pour la gestion durable des eaux souterraines

Les changements globaux (climat, pollution, artificialisation des sols) constituent un challenge important et menacent la gestion durable des eaux souterraines et la biodiversité. Un panorama des travaux menés dans ce cadre au BRGM sur les SFN (solutions fondées sur la nature).

Avec les deux projets JPI Water EVIBAN et SFN-Gest'ESO, un catalogue de solutions fondées sur la nature se développe au BRGM pour une gestion durable des eaux souterraines.

Nouvelles ou déjà connues mais revisitées, originales dans leur utilisation, et surtout par définition naturelles, les SFN s'appliquent aussi bien en milieu rural qu'urbain, et répondent aux objectifs de lutte contre le changement climatique, en particulier face à la raréfaction et la dégradation des ressources en eau, et à la nécessité de préserver la biodiversité des milieux aquatiques.

Des SFN contre le changement climatique

Les SFN contournent les limites de moyens classiques utilisés jusqu'ici. Les dernières décennies montrent en effet les limites des solutions d'ingénierie civile classiques face aux impacts du changement climatique. Les épisodes extrêmes de pluie ou de sécheresse viennent bousculer les habitudes de gestion. Des bassins d'orage par exemple, qui retiennent les eaux pluviales excédentaires produites lors d'un orage, sont adaptés à des régimes de précipitations connus. Mais face à une accélération que l'on peut constater dans l'évolution du climat, ces bassins ne sont plus adaptés.

L'artificialisation des sols, ajoutée à la densification de l'habitat, augmente par ailleurs les risques d'inondation du fait de l'imperméabilisation. Dans ce contexte, de fortes pluies peuvent provoquer une inondation du



GÉRALDINE PICOT

Hydrogéologue
PhD



CÉCILE HÉRIVAUX

Économiste de
l'environnement
PhD

réseau d'évacuation et d'assainissement, et limiter le fonctionnement des stations d'épuration, avec des risques de pollution de l'environnement du rejet des stations (rivière, lac, mer, sous-sol et eaux souterraines). Le BRGM travaille sur ces différentes thématiques.

JPI Water EVIBAN : un site expérimental de recharge maîtrisée des aquifères pour éliminer des micropolluants

Clos en 2023, ce programme européen, au travers d'un site pilote français situé en Normandie, a permis de vérifier qu'un système de captation et de traitement des eaux en station d'épuration combiné à une infiltration par le sol et l'aquifère dunaire côtier, déjà en œuvre depuis 30 ans, apporte un traitement des eaux complémentaire pour des micropolluants non encore surveillés dans le cadre réglementaire de ce dispositif de recharge maîtrisée d'aquifère.

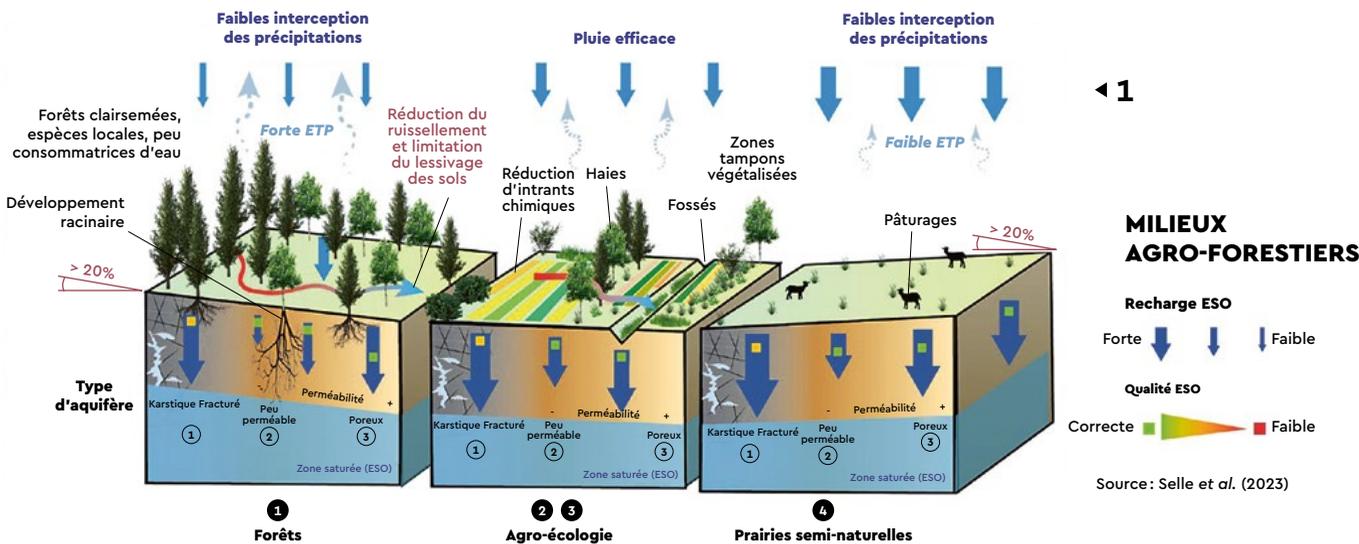
L'aquifère dunaire se comporte comme un filtre naturel. Le BRGM, qui a travaillé avec la commune et l'opérateur Saur, a mesuré les eaux et a pu modéliser et reproduire les comportements des écoulements et de certains micropolluants. Si de telles pratiques sont anciennes, ici des roseaux ont été associés aux bassins d'infiltration pour rendre le système plus durable et adapté au site naturel de cet espace côtier.

L'impact des travaux du programme JPI Water EVIBAN appliqué sur ce site est important : la prise de conscience



Référencement GPS d'un piézomètre
(instrumentation pour le suivi et l'analyse de
la qualité de l'eau) situé dans le bassin d'infiltration
du système de recharge maîtrisé d'aquifère.
© BRGM - G. Picot





... des populations, craignant que la station d'épuration provoque une pollution de l'eau de mer, amène à un changement de perception de ces systèmes.

Grâce au suivi expérimental et au modèle effectué sur ce pilote, les acteurs du territoire s'intéressent au déploiement de ces solutions à d'autres stations d'épuration côtières normandes ayant un impact environnemental.

SFN-Gest'ESO: réfléchir les SFN à l'échelle d'une nappe

Ici, le programme mené par le BRGM en partenariat avec l'AERMC (Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse) vise à relier directement solutions SFN et eaux souterraines. Si les solutions sont souvent connues, leur utilisation dans un objectif de gestion durable des eaux souterraines est nouvelle.

Trois territoires, représentatifs de milieux différents ont été étudiés, avec une approche multidisciplinaire combinant outils hydrogéologiques, entretiens auprès des acteurs locaux et enquêtes auprès des citoyens.

Dans le bassin versant du Drugeon (Doubs), la renaturation du cours d'eau et la réhabilitation des tourbières, mises en œuvre pour restaurer la biodiversité aquatique, contribuent à atténuer les effets du changement climatique sur les aquifères tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

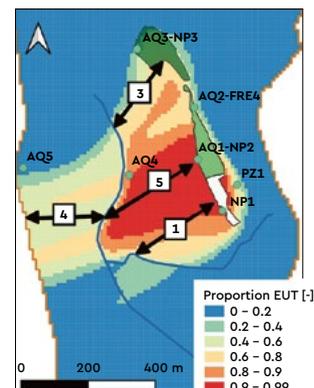
Image 1 — Processus hydrogéologiques associés aux SFN-ESO en milieux agroforestiers. ©BRGM

Image 2 — Proportions d'eaux usées traitées (EUT) dans les eaux souterraines dunaires côtières d'Agon-Coutainville et principaux comportements dans l'aquifère des EUT rechargées (direction, vitesse d'écoulement et proportion EUT) simulées par le modèle hydrodynamique. ©GUILLEMOTO ET AL. 2023

« Les SFN pour une gestion durable des eaux souterraines (SFN-ESO) peuvent rendre les territoires plus résilients aux changements globaux. »

Dans le cas du territoire de Vistrenque-Costières (Gard), un programme de compensation écologique basé sur des prairies semi-naturelles a permis la reconquête de la qualité de l'aquifère utilisé pour l'alimentation en eau potable. Dans l'Est lyonnais, des solutions alternatives de gestion des eaux pluviales basées sur la désimperméabilisation peuvent augmenter la recharge des aquifères ainsi que renforcer l'adaptation du bassin versant au changement climatique.

Ces résultats prometteurs appellent à une meilleure prise en compte des eaux souterraines dans la conception des SFN, afin de renforcer la cohérence entre politiques publiques et améliorer la résilience des territoires face aux changements globaux. ●





STÉPHANE ROUMEAU

Directeur du Syndicat mixte du bassin de Thau

« Nous avons initié un projet mené sur cinq ans, avec le BRGM en maîtrise d'ouvrage, sur la ressource en eau. La maturité actuelle des débats des élus sur le sujet doit beaucoup à l'expertise fine et approfondie de l'établissement. »

Pourquoi faire appel au BRGM ?

STÉPHANE ROUMEAU — Lagune d'eau de mer située dans le sud de la France, le bassin de Thau, centré sur la ville de Sète (Hérault), est le plus grand plan d'eau de la région Occitanie. Notre syndicat mixte est un établissement public territorial de bassin (EPTB), structure destinée à gérer l'eau à l'échelle d'un bassin versant ou d'une nappe. Nous couvrons ici 25 communes et, cas unique en France, nous avons, outre la gestion de l'eau à proprement parler, une compétence en aménagement du territoire et nous nous occupons du SCOT (schéma de cohérence territoriale). La salinité de l'eau est l'un des sujets que nous traitons bien évidemment. Nous avons des problématiques de manque d'eau, liées à notre aquifère. Autre particularité de notre bassin : l'attention particulière portée à la qualité de l'eau, la lagune pesant à elle seule 10 % de la production de conchyliculture française. Autant de problématiques pour lesquelles nous faisons appel au BRGM. Notre réflexion étant désormais menée dans un contexte d'adaptation au changement climatique.

Quelques mots sur les projets menés ?

S.R. — Nous avons une approche historique avec le BRGM sur la question du littoral, avec des programmes d'accompagnement sur l'aménagement qui ont permis de stabiliser les côtes dans les années 2000.

Plus récemment nous avons initié le projet DEM'Eaux Thau, mené sur cinq ans, avec le BRGM en maîtrise d'ouvrage. Sujet : la ressource en eau. Objectif : mieux comprendre la structure et le fonctionnement d'un hydrosystème karstique complexe dans le secteur du bassin. Et notamment celui de La Vise, sa source sous-marine impactée par un phénomène d'inversac (des épisodes temporaires d'intrusion d'eau saumâtre dans l'aquifère). Une plateforme web d'observation de l'aquifère et de la source, un modèle hydrogéologique 3D et un outil de gestion de l'aquifère ont été mis en place.

Quel bilan sur cette collaboration ?

S.R. — La maturité actuelle des débats des élus sur la ressource en eau doit beaucoup à l'expertise fine et approfondie du BRGM. J'ai été particulièrement marqué par l'attention des élus portée aux résultats scientifiques. Cela nous a permis incidemment de découvrir la source sous-marine du gisement des eaux thermales de Balaruc-les-Bains, première station thermale de France. Ce qui a donné un petit côté « magique » à ce travail. À noter que le BRGM, une fois le programme terminé, ne nous laisse pas « seuls » avec nos données ; nous sommes accompagnés, notamment sur le phénomène d'inversac, avec un programme expérimental sur la régulation de la source sous-marine concernée. ●

AQUAREF: UN APPUI TECHNIQUE POUR LA SURVEILLANCE RÉGLEMENTAIRE DES MASSES D'EAUX

Au sein d'Aquaref (laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques), le BRGM pilote les actions visant à définir les performances analytiques nationales (limites de quantification) pour la surveillance réglementaire des masses d'eaux souterraines et de surface. Cette action concerne la gestion d'une base de plus de 1 000 données de performance correspondant à autant de couples « paramètres/matrices ». Elle nécessite de prendre en compte les besoins environnementaux (valeurs d'effets toxiques ou écotoxiques) mais aussi les capacités des laboratoires.

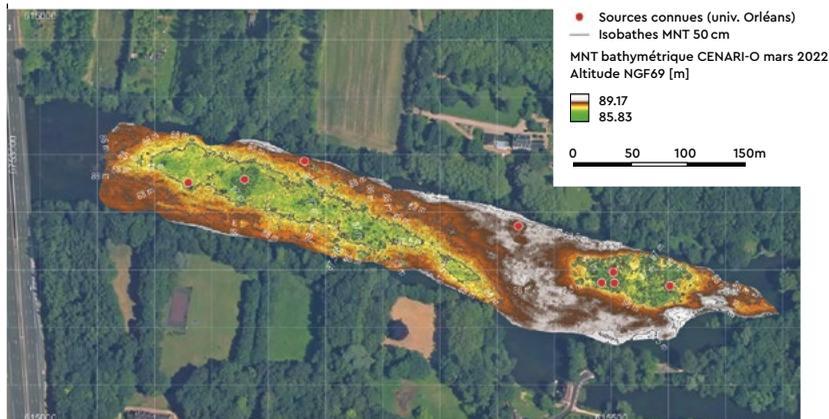
Par ailleurs, afin de rendre plus fiables et exploitables les données de surveillance des produits phytosanitaires, le BRGM a initié une action qui se poursuivra jusqu'en 2026 dont l'objectif est d'établir un lien entre les substances actives vendues et les formes chimiques analysées par les laboratoires. Ce lien est parfois complexe à faire, rendant difficile l'évaluation de l'impact environnemental de ces substances (par exemple *via* les bases ADES ou Naïades).



Prélèvement d'eau effectué dans un objectif de diagnostic de qualité et de recherche de potentiels polluants, à Pontcharra (Isère).
© BRGM

CONNAISSANCE DES ÉCHANGES NAPPE-RIVIÈRE AVEC CENARI-O

CENARI-O, projet de recherche de la région Centre-Val de Loire, développe une méthode multicritère de caractérisation des échanges nappe-rivière. Une approche innovante, intégrée et multi-échelle appliquée à la rivière du Loiret a permis de comprendre les échanges et les mélanges dans leurs dimensions spatiale, de la source à la confluence Loire-Loiret, et temporelle au cours des crues et des périodes d'étiage.

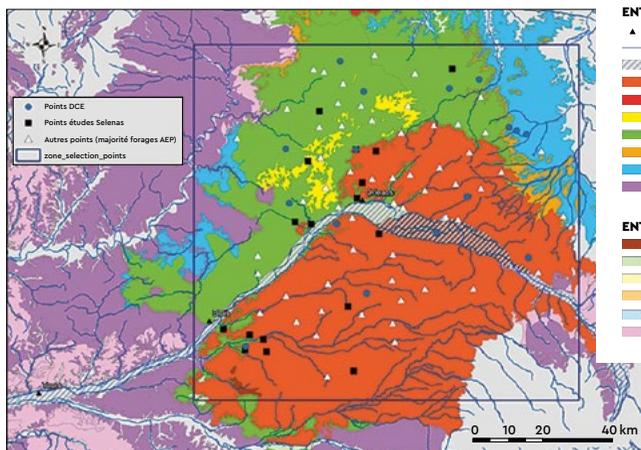


Localisation des zones de dépression dans le bassin des Tacreniers, rivière le Loiret.
© BRGM - T. DEWEZ

Projet régional CENARI-O - MNT bathymétrie du Loiret
Mesures SubseaTech 22-23 mars 2022 - Traitements T. Dewez BRGM
Fond BD-Ortho IGN

IMPACT DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR LES TRANSFERTS D'EAU ET DE NUTRIMENTS

Le projet NUTRI-Karst, en Franche-Comté, cherche à comprendre l'impact des activités humaines (agriculture, rejets domestiques) sur la pollution des eaux par les nutriments, aux différentes échelles de la source karstique, du bassin versant (La Loue), au territoire (massif du Jura). Les premiers résultats montrent que les excès d'azote exportés par l'eau représentent en moyenne 20 % des quantités apportées sur les bassins, dont l'origine est principalement agricole en lien avec l'élevage laitier. Bien que dans un contexte agricole majoritairement extensif, la dégradation chronique de la qualité des eaux illustre la vulnérabilité des bassins karstiques.



ENTITÉS BD LISA ORDRE 1 (à l'affleurement)

- ▲ Villes
- Cours d'eau
- ▨ Alluvions de la Loire – Entité 930DA
- Sables et argiles de Sologne – 104AE03
- Sables et argiles du Pliocène – 104AA04
- Marnes et argiles de l'Orléanais – 104AE05
- Calcaires de Pithiviers (libres) – 107AA01/02/03/05/07
- Molasses du Gâtinais _107AE01
- Calcaires d'étampes (libres) – 107 AF01
- Argiles à silex – 119AE01 – 119AE05

ENTITÉS BD LISA ORDRE 2 à 5

- Sables et argiles de Sologne – 104AE03
- Calcaires de Pithiviers (captifs) – 107AA01 /02/03/05/07
- Marnes et argiles de l'Orléanais – 104AE05
- Molasses du Gâtinais – 107 AE01
- Calcaires d'étampes (captifs) – 107 AF01
- Argiles à silex – 119AE01 – 119AE05

Emplacement des points de prélèvements sur le fond de la carte BD LISA.

© BRGM – N. DEVAU

BIODIVEAU AU SERVICE DE LA MICROBIODIVERSITÉ

Objectif du projet BIODIVEAU : évaluer le potentiel des outils de caractérisation de la composante microbiologique des masses d'eau pour traduire l'état de la ressource en eau. La biodiversité microbienne des eaux souterraines étant peu évaluée à ce jour, le BRGM peut se positionner sur ce vaste sujet. 60 points de captage de la nappe de Beauce ont été échantillonnés et analysés. Des signatures microbiologiques associées à des signatures hydrogéochimiques ont été mises en évidence. C'est un premier pas pour établir un référentiel de l'état microbiologique des eaux.

CARE-PEAT PREND SOIN DE NOS TOURBIÈRES

Le projet Interreg NWE Care-Peat a eu pour but d'étudier les émissions de gaz à effet de serre par les tourbières. Ces écosystèmes, lorsqu'ils sont dégradés, rejettent du CO₂ et du CH₄ vers l'atmosphère. Le BRGM a accompagné les travaux de restauration des tourbières menés sur sept sites pilotes répartis dans six pays. Pour cela, un outil d'aide à la décision a été développé afin d'évaluer ces flux de carbone avant restauration, et de proposer des solutions pour diminuer les échanges gazeux entre tourbière et atmosphère. Ces scénarios s'appuient notamment sur des modifications de l'hydrologie des sites et des changements de végétation des zones dégradées.



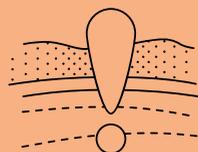
Site de La Guette en Sologne (Cher). Réimplantation d'une végétation adaptée, permettant une meilleure séquestration du carbone dans les sols.
© BRGM – L. ANDRÉ

VULNÉRABILITÉ DES CAPTAGES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Comment aider un syndicat des eaux à anticiper les impacts du changement climatique sur ses forages d'exploitation ? Le BRGM a mené pour le Syndicat Départemental des Eaux de l'Aube un projet de R&D pour hiérarchiser les forages selon un degré de vulnérabilité au changement climatique en employant une approche multicritères croisant facteurs principaux d'exposition et de sensibilité, qui soient les plus adaptés possibles à cette échelle de travail.



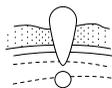
Surveillance par drone des falaises
de la route de la Corniche à Urrugne.
© Observatoire de la Côte Aquitaine / Com' by AVM



RISQUES ET AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Développer la résilience des territoires par une meilleure maîtrise des risques et de leurs impacts

Le changement climatique et la pression sur les territoires accroissent leur vulnérabilité face aux aléas naturels et aux pollutions anthropiques. Le BRGM, qui codirige notamment le PEPR Risques (IRiMa), contribue au développement en France d'une approche intégrée de la chaîne du risque, de la prévention à l'adaptation en passant par l'appui à la gestion de crise, dans le but de favoriser un aménagement durable en accompagnant les territoires. Il intervient tout particulièrement sur les littoraux, avec des outils de suivi, de modélisation et d'appui au réaménagement de ces zones sensibles à l'érosion et exposées au risque de submersion. Le BRGM a également développé une expertise pointue dans la gestion et le suivi des anciens sites miniers ou industriels et la reconquête des sols pollués.



RÉSULTAT REMARQUABLE RISQUES NATURELS

Vers des réponses naturelles adaptées aux phénomènes induits par des événements météorologiques

Le BRGM a participé au projet européen Phusicos, qui visait à évaluer l'efficacité de solutions fondées sur la nature (SFN) pour prévenir la survenue de mécanismes engendrés par les aléas climatiques, en particulier en montagne. L'établissement a notamment produit une base de données de référence pour faciliter le recours aux SFN.

« Dans un contexte de changement climatique, il convient de s'orienter vers des solutions moins émettrices de CO₂, moins "grises", pour réduire les risques naturels et protéger les populations : des "solutions fondées sur la nature" (SFN), qui s'appuient sur la biodiversité ou consistent en des ouvrages construits avec des matériaux comme le bois, les pierres... », explique Séverine Bernardie, experte en glissement de terrain.

Si le BRGM travaille depuis longtemps sur ces problématiques, il s'est concentré ces dernières années sur l'apport des SFN dans la réduction des risques hydrogravitaires (chute de blocs, glissement-érosion, avalanche de neige, laves torrentielles) en zone de montagne, dans le cadre du projet H2O2O Phusicos (2018-2023). Un projet coordonné par l'Institut géotechnique norvégien (NGI), qui réunissait 15 partenaires de 7 pays autour d'un objectif : démontrer que les solutions fondées sur la nature pour réduire le risque de phénomènes induits par des événements météorologiques sont techniquement viables, rentables et applicables à l'échelle régionale, tout en augmentant la résilience écologique, sociale et économique des communautés locales.

De concert avec les acteurs locaux

« Nous avons travaillé plus particulièrement sur la prévention des chutes de blocs sur un site des Pyrénées, à Artouste, précise Séverine Bernardie. Ce choix a été fait de concert



**SÉVERINE
BERNARDIE**
Experte
en glissement
de terrain

avec les acteurs locaux, à partir de leurs besoins, de leurs attentes et de leurs implications dans le projet, en plus de critères financiers. Nous avons réalisé des études pour caractériser l'aléa, quantifier le rôle de la forêt existante en tant que SFN et identifier de nouvelles solutions mieux adaptées pour réduire cet aléa, qui ont ensuite été mises en œuvre. » C'est ainsi qu'ont été installés des tripodes en bois dans les zones de départ potentiel de blocs, pour les stabiliser,

et des ouvrages en bois dans les zones de propagation des blocs, pour les arrêter.

L'évaluation de ces solutions se fera sur plusieurs années, en englobant les bénéfices en termes de réduction de l'aléa mais aussi les co-bénéfices économiques, écologiques et sociaux. « Nous avons élaboré un protocole qui assurera la qualité et la pérennité du suivi et de l'analyse sur le long



Image 1 — Blocs s'étant propagés jusqu'en tête du mur de soutènement qui surplombe la route à Artouste. ©BRGM

Image 2 — Exemple d'ouvrage construit à Artouste (Pyrénées françaises) pour stabiliser des blocs rocheux en amont d'une route stratégique (2022). ©BRGM

Image 3 — Vue 3D d'un versant surplombant une route très fréquentée à Artouste et exposée aux chutes de blocs. La nature des sols est caractérisée sur l'ensemble du versant à partir d'une analyse conjointe de la distribution des pentes et de la rugosité locale à différentes échelles. Les résultats sont validés par comparaison avec des points d'observation au sol (points cerclés de noir). Ces données servent ensuite à la modélisation de la propagation des blocs dans le versant. ©BRGM



« Dans un contexte de changement climatique, il convient de s'orienter vers des solutions moins émettrices de CO₂, moins "grises", pour réduire les risques naturels et protéger les populations : des "solutions fondées sur la nature" (SFN), qui s'appuient sur la biodiversité ou consistent en des ouvrages construits avec des matériaux comme le bois, les pierres... »

terme des solutions mises en œuvre sur ce territoire, grâce également à la participation d'un groupe de travail très investi localement. » Cette démarche permettra de tester les performances des ouvrages en bois face aux impacts de blocs et au vieillissement dans le but, *in fine*, de normaliser le dimensionnement et l'usage de ces solutions.

Une quinzaine de critères

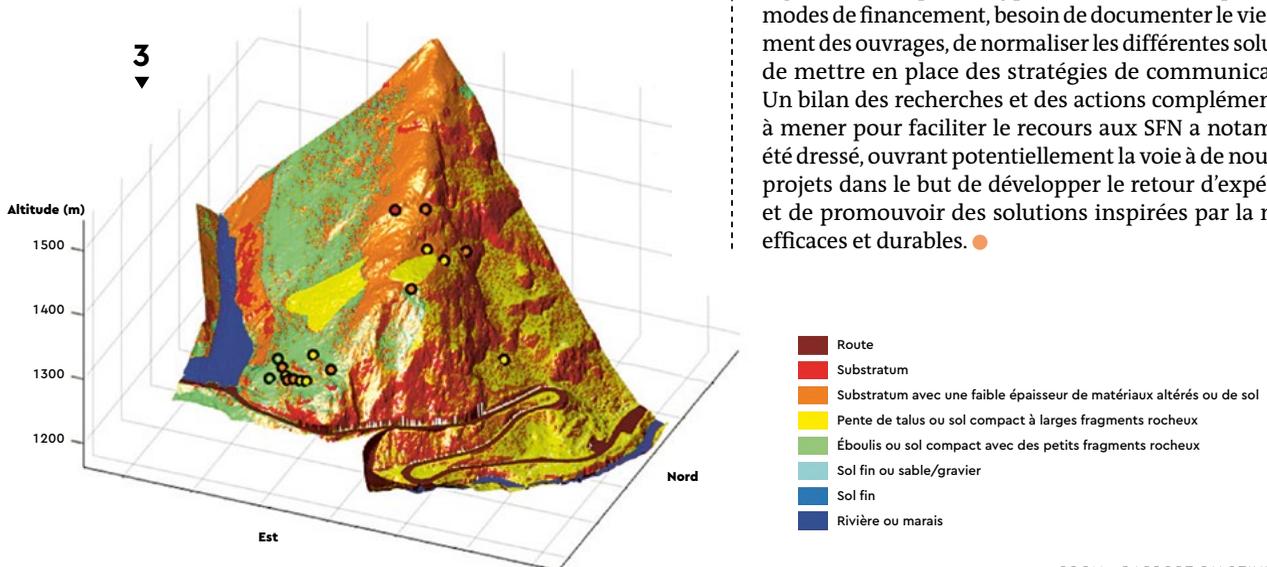
Ce travail d'évaluation, le BRGM l'a mené, en parallèle, sur 187 exemples de solutions fondées sur la nature mises en œuvre à travers le monde. Un imposant travail de

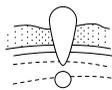
documentation, de description et d'analyse, structuré par une méthodologie reposant sur une quinzaine de critères : la faisabilité technique de la SFN, le coût de sa mise en œuvre, son efficacité en termes de réduction de la fréquence du phénomène, la gestion et la maintenance, le nombre d'emplois créés en lien avec cette SFN, la préservation de l'environnement et de la biodiversité, l'implication de la communauté locale, sa perception de la solution et de la situation...

« Nous avons développé, à partir de cet inventaire et de notre évaluation, une base de données qui permet de savoir, pour chaque SFN étudiée, dans quel contexte et à quelles conditions elle est adaptée, de connaître ses performances mais aussi les impacts engendrés, qu'ils soient positifs, négatifs ou neutres », souligne Séverine Bernardie. Libre et ouverte, cette plateforme web (phusicos.brgm.fr) a vocation à être mise à jour en continu et enrichie de nouvelles études de cas, pour servir de référence en matière de prévention des risques et d'aménagement du territoire au moyen de solutions fondées sur la nature.

Lever les principaux obstacles

Le projet Phusicos a permis, en outre, d'identifier les principaux obstacles à la mise en œuvre de SFN : manque de réglementation pour ce type de solutions, inadaptation des modes de financement, besoin de documenter le vieillissement des ouvrages, de normaliser les différentes solutions, de mettre en place des stratégies de communication... Un bilan des recherches et des actions complémentaires à mener pour faciliter le recours aux SFN a notamment été dressé, ouvrant potentiellement la voie à de nouveaux projets dans le but de développer le retour d'expérience et de promouvoir des solutions inspirées par la nature efficaces et durables. ●





RÉSULTAT REMARQUABLE RISQUES ANTHROPIQUES

Des avancées marquantes pour appréhender et traiter les PFAS

Les PFAS, composés chimiques utilisés dans les milieux industriels et présents dans des produits courants, sont persistants dans l'environnement après leur usage. Plusieurs équipes du BRGM, associant des compétences variées et des outils multiples, développent des moyens pour le traitement des terrains pollués par ces substances. L'année 2023 a été marquée par plusieurs avancées majeures et innovantes dans ce domaine.



STÉFAN COLOMBANO
Ingénieur-chercheur
en sites et
sols pollués



CLÉMENT ZORNIG
Responsable de l'unité
Sites sols et sédiments
pollués (3SP)



JULIE LIONS
Expert hydrogéochimiste,
coordinatrice du projet
H2O2O PROMISCES



ANNE TOGOLA
Biogéochimiste
environnementale



NICOLAS DEVAU
Géochimiste
modélisateur

Les PFAS sont bien connus des chimistes, mais aussi des défenseurs de l'environnement en tant que polluants « éternels ». Sous ce nom se cachent des substances per- et polyfluoralkylées, dont les propriétés chimiques bien spécifiques qui justifient leur emploi dans de nombreux domaines industriels et dans des produits de la vie courante. On en trouve ainsi dans des vêtements techniques, des mousses anti-incendie, des enduits antitaches et imperméables, des revêtements de sol, des emballages alimentaires...

Mais, revers de la médaille, ils sont fortement persistants dans l'environnement et se retrouvent dans différents milieux (sol, eaux souterraines...). Les PFAS ont des effets néfastes sur l'environnement mais aussi sur la santé humaine. Ils se trouvent de fait sur le devant de la scène scientifique, médiatique, juridique et politique. Le traitement de ces polluants éternels est alors nécessaire pour diminuer les concentrations dans les sols et les eaux souterraines, ce qui nécessite des dépollutions importantes avec des techniques adaptées.

Le BRGM acteur de plusieurs grands projets

De par la complexité de cette problématique, la gestion des PFAS fait face à de nombreux challenges de R&D. Elle

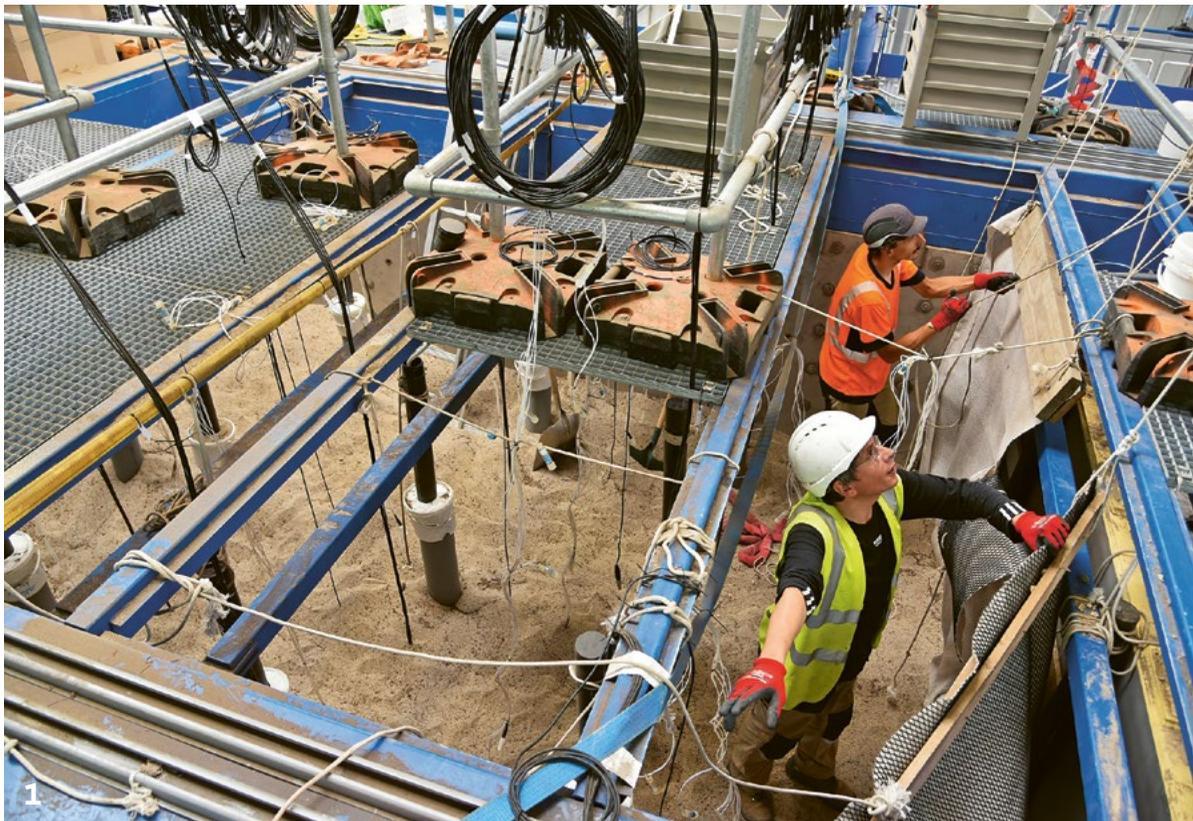
accentue le nombre d'appuis techniques nécessaires, de travaux de recherche dans la compréhension et le traitement des pollutions des eaux souterraines ou des sites et sols pollués, en local ou à l'échelle nationale. Tout cela est engagé par le BRGM, sous des combinaisons de disciplines scientifiques différentes et complémentaires, car il est nécessaire de développer les moyens pour le traitement des terrains pollués par les PFAS sous plusieurs angles : modélisation, dépollution, développements analytiques et destruction. Le BRGM travaille sur tous ces axes depuis plus de cinq ans, à travers plusieurs projets PERFECT, PERMUTE, CONCERTO, PFASwin et H2O2O PROMISCES. L'année 2023 a été marquée par plusieurs avancées importantes dans le domaine.

Extraire les PFAS des sols

Au sein de PROMISCES, coordonné par le BRGM et financé par le programme européen H2O2O dans le cadre du Green Deal, qui propose de « contribuer au déploiement de l'économie circulaire en réduisant les risques associés à certains polluants industriels, notamment les PFAS », plusieurs dimensions ont été traitées. La plateforme PRIME, pour la remédiation et l'innovation au service de la métrologie environnementale, a été mise à contribution.

Essais de traitabilité des
PFAS à l'aide de réducteurs.
© BRGM - D. Depoorter





Mise en place de l'expérimentation à grande échelle de monitoring et de dépollution des PFAS en milieu poreux dans le pilote plurimétrique de la plateforme PRIME du BRGM. ©BRGM - P. VASSAL

Modélisation

Le BRGM a mis en lumière le fait que le transport des PFAS ne suit pas les règles standards des comportements des polluants organiques lors de leur transfert du sol vers les nappes. Les effets d'interface doivent être pris en compte dans les modèles. Cela doit permettre de prédire la migration pour prévoir la dépollution. Pour cela des modèles numériques ont été développés pour simuler les travaux expérimentaux de l'échelle du laboratoire au terrain.

Dépollution: extraction et destruction

Il s'agit d'une part d'extraire les PFAS des sols avec des liquides dits « non newtoniens » pour traiter les différentes couches lithologiques même lorsqu'elles présentent des perméabilités différentes. Le BRGM a développé des liquides spécifiques appelés rhéofluidifiants afin de s'affranchir de l'anisotropie des sols (les propriétés varient selon la direction considérée) et balayer ainsi de manière homogène les différentes couches des sols. Par un phénomène de désorption (extraction de gaz) ou de solubilisation, ces liquides permettent d'extraire des PFAS !

D'autre part, le BRGM a développé des techniques de dépollution pour détruire certains PFAS avec deux approches différentes : réduction et oxydation chimiques avancées.

Analytique

Plusieurs approches, des plus globales aux plus ciblées, ont été développées. Les développements analytiques ont par

« Compréhension et traitement des pollutions des eaux souterraines et des sites et sols pollués, en local ou à l'échelle nationale... De par la complexité de la problématique, la question des PFAS fait face à de nombreux challenges de R&D. »

ailleurs permis de quantifier et d'analyser plus de 55 molécules PFAS dans plusieurs types de milieux.

Toute cette chaîne de travaux rassemble des chercheurs de plusieurs disciplines (chimie, modélisation numérique, mécanique des fluides...), toutes fortement présentes au BRGM.

Il est à noter que la plateforme PRIME du BRGM, après les développements analytiques et des expérimentations en laboratoire, a permis de changer d'échelle pour la démonstration *in situ* et la modélisation, avec une phase d'essais à l'échelle plurimétrique. Une plateforme qui permet de tester, en conditions contrôlées, les méthodes de surveillance, d'étudier la migration des PFAS dans une nappe et le sol, et de tester des techniques de remédiation. ●



FABIENNE RICARD

Sous-directrice DGALN/DEB/ELM, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires

« Face aux enjeux du changement climatique qui vont accentuer les phénomènes d'érosion côtière, le BRGM est un acteur indispensable pour améliorer la connaissance et sa prise en compte par les territoires littoraux dans leur politique d'aménagement. »

Dans quel contexte travaillez-vous avec le BRGM ?

FABIENNE RICARD — Les territoires de bord de mer sont particulièrement attractifs avec une densité de population 2,5 fois plus élevée que la moyenne nationale. Ces territoires d'une grande diversité sont également exposés en divers endroits du littoral aux mouvements du trait de côte. Nous travaillons à la compréhension de ces dynamiques littorales. Ce sont 5 000 km (hors Guyane) de côtes françaises, dont 20 % du littoral, qui reculent sous l'effet de l'érosion, phénomène progressif, inexorable et irréversible. La hausse du niveau des océans, résultant du réchauffement climatique, va contribuer à amplifier ce phénomène. Cette diversité d'espaces et leur étendue positionnent le BRGM comme un acteur incontournable en raison de l'expertise qu'il peut mobiliser.

Quelles conséquences sur les politiques publiques à mener ?

F.R. — Pour les habitants comme pour l'économie des territoires concernés, les conséquences sont majeures. Il faut agir. L'anticipation repose sur la connaissance du phénomène de recul du trait de côte et des enjeux exposés sur les territoires afin de définir les actions adaptées à mener localement.

Cette politique d'adaptation se traduit par l'élaboration de cartes locales d'exposition au recul du trait de côte. Le ministère de la Transition écologique s'est naturellement appuyé sur l'expertise technique et scientifique du BRGM pour mettre à la disposition des collectivités concernées des recommandations pour l'élaboration de ces cartes.

Comment se fait la mise en œuvre avec le BRGM ?

F.R. — D'une part, au travers des séances d'animation spécifiques, compte tenu de la diversité des territoires, qui ont jalonné toute l'année 2023 auprès des collectivités littorales et des services déconcentrés de métropole et d'outre-mer. Les équipes du BRGM se sont beaucoup mobilisées et investies pour que ce chantier soit un succès. D'autre part, en portant le changement de paradigme initié par la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte « Vivre avec la mer plutôt que lutter contre ». Les écosystèmes naturels peuvent constituer des barrières physiques contre les tempêtes, des zones tampons pour prévenir les inondations. Le BRGM participe à changer le regard sur le rôle que jouent les solutions fondées sur la nature. Son partenariat avec le Conservatoire dans le cadre des programmes Adapto en est un exemple. En résumé, le BRGM est un opérateur de l'État essentiel pour accompagner l'adaptation de la diversité des territoires littoraux au changement climatique. ●

ACCOMPAGNER LE DÉPLOIEMENT DES CARTOGRAPHIES D'EXPOSITION AU RECU DU TRAIT DE CÔTE

En 2022, sous le pilotage du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, le BRGM et le Cerema ont élaboré des recommandations méthodologiques pour la réalisation de la cartographie des zones exposées au recul du trait de côte à moyen (30 ans) et long terme (100 ans) à destination des communes volontaires pour mettre en œuvre les nouveaux outils réglementaires de la loi Climat et Résilience de 2021. Le BRGM s'attèle aujourd'hui, avec le Cerema et suite à la signature en 2023 d'une convention avec le ministère, à la création d'un programme national d'accompagnement des services déconcentrés de l'État et des collectivités dans le lancement et le suivi des études nécessaires à l'élaboration de ces cartes locales : construction d'une trame de cahier des charges, mise en place d'un accompagnement technique, organisation de séances d'information régionales et nationales, mise en réseau d'une communauté d'acteurs.



Repérage terrain pour la localisation des prélèvements de sol et de sédiments dans un bassin versant qui a été soumis aux retombées radioactives dans la préfecture de Fukushima.

© BRGM - O. EVRARD

MIEUX PRÉVOIR LA DISPERSION DES RADIONUCLÉIDES ET ÉVALUER LEUR IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Coordonné par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), le projet Amorad cherchait à optimiser les modèles permettant de prédire la dispersion des radionucléides dans l'environnement et d'évaluer leur impact sur le milieu marin et les écosystèmes terrestres. Lancé initialement en 2013, il a bénéficié en 2019 d'une extension de son programme de recherche, portant sur l'évaluation de l'impact environnemental d'un accident nucléaire. Le BRGM était chargé de proposer une méthode pour quantifier l'exportation de radionucléides des bassins versants vers la mer. Le modèle développé, calibré près de Fukushima puis intégré dans une chaîne d'outils mis au point par l'IRSN et le BRGM, a permis de modéliser – pour la première fois – la dynamique du transfert du césium 137 (Cs-137) depuis les dépôts surfaciques jusqu'à la mer, ainsi que l'évaluation des coûts directs de la contamination d'un territoire après un accident grave de réacteur nucléaire.



Placettes de mesures des flux de surface sur une zone réhabilitée depuis deux ans (site d'Awa, Grand Santi).

© BRGM

UNE THÈSE SUR LA RÉHABILITATION DES SITES AURIFÈRES EN GUYANE FRANÇAISE

En partenariat avec l'IPREM (université de Pau et des Pays de l'Adour), ISTERRE (IRD), la société SAS-GAIA et le BRGM, la thèse CIFRE de Naomi Nitschke étudie le devenir du mercure et du plomb en lien avec la réhabilitation des sites aurifères et la re-fonctionnalisation des sols en Guyane Française.

Plusieurs campagnes de mesures des flux temporels de ces éléments pendant des épisodes pluvieux, ont été menées sur le site d'Awa à Grand Santi, dans l'ouest de la Guyane, pour y prélever des eaux, des matières en suspension et des sols. Le projet s'élargit en 2024 par des collaborations avec la Direction générale terre et mer (DGTm) et la collectivité territoriale de Guyane.

LANCEMENT DE PFASTWIN AVEC L'UNIVERSITÉ DE BELGRADE

L'objectif du projet PFASTwin est de renforcer les capacités de la Faculté de chimie de l'université de Belgrade (UBFC) dans l'analyse et la (bio)remédiation des PFAS, ainsi que la gestion de projets Horizon Europe, via une collaboration avec les instituts de pays partenaires : France et Espagne. Le professeur Vladimir Beskoski a été accueilli en octobre 2023 au BRGM en tant que chercheur invité, afin de visiter nos locaux et les dispositifs expérimentaux, et d'échanger avec nos chercheurs. Un workshop s'est tenu sur la thématique des PFAS, avec des présentations des travaux réalisés sur la thématique au BRGM, à UBFC ainsi qu'au Swedish Geotechnical Institute (SGI).



Agent collectant des sargasses sur la plage de Viard (Petit-Bourg, Guadeloupe, 2023).

© BRGM – S. CHAPRON

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES SARGASSES : ARSENIC ET CHLORDÉCONE EN JEU

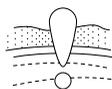
Le BRGM coordonne le projet ANR SargAs&CLD (2020-2023) avec six partenaires, sur les risques environnementaux liés aux sargasses (algues brunes) dans les Antilles. Les sargasses, échouées en bord de plage puis stockées à l'intérieur des terres, contiennent de l'arsenic et de la chlrodécone. Elles libèrent des jus avec de l'arsenic pouvant atteindre 10 mg/L, produisent des arsines sous forme de gaz, et contiennent également des genres microbiens potentiellement pathogènes. Cette situation préoccupe fortement les autorités locales et les populations. Le volet sociologique du projet montre que 38 à 52% des personnes interrogées font confiance à l'État pour gérer la crise et seulement 5 à 10% aux scientifiques ! Les travaux du BRGM montrent que ces substances dans les jus de sargasses peuvent être éliminées en utilisant des géomatériaux naturels de Martinique et Guyane française, et des charbons actifs dopés avec du fer. Le BRGM collabore avec les autorités locales afin de dimensionner des unités de traitement des jus, et d'étudier le risque environnemental dû à la présence de sargasses sur les plages et leur stockage dans les terres.

PROTÉGER LE LAGON DE MAYOTTE DE L'ÉROSION DES SOLS ET DE L'ENVAISEMENT

Le lagon de Mayotte est menacé par les apports terrigènes venus certes des « padzas » (badlands) mais aussi et surtout des parcelles agricoles sarclées (manioc, banane) et des multiples chantiers de construction pour faire face à une pression démographique exponentielle (+45% d'habitants en 10 ans). Dans le cadre du projet Leselam (Lutte contre l'érosion des sols et l'envasement du lagon à Mayotte) initié en 2015, un observatoire a été mis en place sur trois bassins versants pour assurer un suivi en continu du ruissellement et de l'érosion. L'intégration des données collectées dans le modèle de transfert sédimentaire Watersed a permis au BRGM de produire la première cartographie quantitative de l'érosion de l'île, en 2018 puis 2022 : en quatre ans, la quantité de terre ayant fini dans le lagon a augmenté de 17% (près de 25 000 tonnes en 2022) ! Le projet Leselam prévoit également la diffusion de bonnes pratiques auprès des agriculteurs, la sensibilisation de la population mahoraise dont les enfants (interventions en milieu scolaire) et diverses campagnes de communication (film, dessin animé, pièce de théâtre...).



Panache turbide dans le lagon de Mayotte.
© BRGM



APRÈS-MINE

2023 a été marquée par l'énergie. Nous avons, dès le mois de janvier, sécurisé l'alimentation électrique des pompages du bassin Nord-Pas-de-Calais pour pallier les possibles délestages d'ENEDIS. Parmi la multitude des opérations menées, notons, vis-à-vis du risque gaz, des travaux de mise en sécurité d'anciens puits du bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais, ainsi que la découverte et le traitement d'une fuite de gaz de mine en Lorraine, deux opérations délicates menées en contexte urbain. Mentionnons aussi des travaux sur le risque d'effondrement et le comblement d'une cavité à très faible profondeur dans le bassin ferrifère de Normandie. Sans oublier le risque à l'environnement avec la mise en sécurité de deux dépôts miniers dans le Var.

Nord-Pas-de-Calais : surveillance et travaux d'urgence sur deux anciens puits de charbon

Le bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais, le plus grand en Europe, exploité de 1734 à 1990, s'étend sur une zone de 100 x 30 km et plonge jusqu'à un kilomètre de profondeur. L'ampleur du site est impressionnante, avec 100 000 km de galeries, en tout 622 puits et des vides résiduels représentant 1,7 km³. Plus de 2,4 milliards de tonnes de charbon ont été extraits depuis son ouverture.

Or le charbon contient naturellement du gaz de mine (du méthane). Ce gaz remplit les vides résiduels où sa mise en pression, liée à plusieurs facteurs comme le pompage barométrique, le tirage thermique ou l'ennoyage progressif, entraîne sa migration en surface. Cinq réservoirs de gaz de mine sont identifiés dans le bassin, leur surveillance étant assurée par 540 ouvrages.

Ce phénomène, pouvant avoir un impact sur les biens et les personnes et déjà constaté en plusieurs points du bassin, nécessite l'installation de dispositifs passifs de mise à l'atmosphère. Compte tenu de l'augmentation de la pression et de la teneur en méthane mais également de la vulnérabilité de l'enjeu, un renforcement de cette mise en sécurité peut s'avérer indispensable.

C'est ce qui s'est produit sur deux sites du bassin : aux puits Mon Désir Nord et Sud de la concession de



VALÉRIE WYPYCH
Adjointe
DPSM-UTAM NORD

Vieux-Condé, équipés en 2005 d'un regard de visite déporté raccordé à un évent de dégazage. Un bilan approfondi de leur surveillance a été mené par le DPSM (Département prévention et sécurité minière) en juin 2021.

En 2023 le DPSM a réalisé des travaux d'urgence de modification de ces événements. Des travaux courants, éprouvés dans d'autres bassins mais dont l'application est en croissance dans celui du Nord-Pas-de-Calais.

Cette intervention témoigne du caractère évolutif du gisement minier et de la nécessité de maintenir une surveillance de la réaction des réservoirs aux différents phénomènes naturels (température, pression, ennoyage progressif...). Elle est aussi emblématique de notre cœur de métier. ●

Comblement du caniveau de la canalisation reliant le regard déporté à l'évent du puits Mon Désir Nord.

© BRGM





Mesures de gaz
par les agents du
DPSM-UTAM EST.
© BRGM

MISE EN SÉCURITÉ D'ÉMISSIONS DE MÉTHANE EN MILIEU URBAIN À PETITE-ROSSELLE

Dans le bassin houiller lorrain, GRDF a mesuré du méthane sur la commune de Petite-Rosselle (57), au-dessus d'anciennes zones d'activités minières. Le DPSM a réalisé des mesures pour déterminer l'étendue du phénomène, le quantifier et caractériser les gaz présents (CH_4 , H_2S , CO , O_2 , CO_2), et pour finir caractériser l'origine de ces gaz. Les campagnes de terrain menées par le DPSM-UTAM EST ont permis de vérifier que les habitations ne présentaient pas de teneur en méthane significative. Les analyses isotopiques pointent une origine minière très probable. L'historique de l'exploitation du charbon sur cette commune, ainsi que la présence de nombreuses failles semblent expliquer la migration de ces gaz, depuis le charbon vers la surface. Le DPSM a installé un dispositif de drainage sur deux niveaux de profondeur, raccordé à un exutoire, qui permet de prévenir l'apparition de gaz dans des concentrations significatives en surface, afin de garantir la sécurité des habitants et des usagers de la voirie.



Vue d'ensemble du
dépôt du Lenté en
cours de travaux.
© BRGM

COMPLEMENT DE CAVITÉS DE L'ANCIENNE MINE DE FER À MAY-SUR-ORNE

Depuis 2008, le DPSM-UTAM CENTRE-OUEST effectue la surveillance par vidéo-laser d'une portion de la galerie « Z20a » située à la verticale d'un bâtiment à cinq mètres de profondeur seulement, sur la commune de May-sur-Orne (14). Compte tenu de cette faible profondeur, il a été décidé de mettre la zone en sécurité. Solution retenue : le comblement intégral des vides identifiés, réalisé en deux phases à la suite de la découverte de vides complémentaires. Une opération qui a permis de supprimer le risque de fontis (effondrement du sol en surface) et d'abaisser de « fort » à « faible » le niveau d'aléa. Mais également de supprimer l'inspection vidéo-laser annuelle sur deux forages.



Forage dirigé avec une inclinaison
à 28° et une profondeur de 8,8m,
pour la recherche de vides sous
le bâtiment.
© BRGM

RÉHABILITATION DE RÉSEAUX HYDRAULIQUES DE DÉPÔTS DE RÉSIDUS MINIERS À FONTSANTE

La mine de fluorine de Fontsanter à Tanneron (83), exploitée de 1963 à 1986, a produit 400 000 à 800 000 tonnes de résidus miniers riches en fluor et en éléments traces métalliques, dont de l'arsenic et de l'aluminium stockés aux dépôts du Lenté et de Saint-Barthélemy, soit 2 km en amont de la retenue de Saint-Cassien, qui assure l'alimentation en eau potable de Cannes. Les deux dépôts sont surveillés par le DPSM-UTAM SUD dans le cadre de sa mission après-mine. Une érosion des couvertures des dépôts, une topographie favorable à l'infiltration, ainsi que l'apparition de résurgences, avec des précipitations d'oxyhydroxydes de fer en périphérie des dépôts et de pics de concentration en arsenic et en fluor dans l'eau rejoignant la retenue de Saint-Cassien, ont conduit le DPSM à préconiser aux services de l'État la restauration de ces deux dépôts par un remodelage partiel de leurs couvertures et un renforcement de leurs réseaux hydrauliques. Les travaux ont été réalisés d'octobre 2022 à avril 2023, avec l'appui d'une mission de maîtrise d'œuvre et d'un accompagnement écologique de chantier. Le défrichage d'abord, puis des terrassements sur le dépôt du Lenté (décapage de la terre végétale, décroûtage d'une piste d'aéromodélisme en enrobé, création d'une cellule de stockage de résidus issus du chantier, comblements de cuvettes topographiques et reprofilage de la couverture). Ont suivi la réhabilitation et la création de réseaux hydrauliques, le réensemencement des zones mises à nu par les travaux, et enfin le renforcement du dispositif de fermeture des accès aux deux dépôts (clôtures, barrières d'accès...).



Le déchetage des cartes mères d'ordinateur est la première étape d'un procédé de récupération d'or et de palladium. © BRGM - D. Depoorter



RESSOURCES
MINÉRALES
ET ÉCONOMIE
CIRCULAIRE

Mobiliser la recherche et l'expertise pour sécuriser les approvisionnements en matières minérales

Le ressourcement en métaux stratégiques indispensables à la transformation digitale et énergétique est devenu un enjeu majeur à l'échelle de l'Europe pour sa relance industrielle. Le nouveau règlement européen sur les matières premières critiques, publié en 2023, mandate les États membres pour évaluer leurs potentiels de ressources minérales. En France, un inventaire piloté par le BRGM doit ainsi être lancé prochainement. L'établissement, qui déploie l'intégralité de la chaîne de valeur des matières minérales, met également ses compétences au service de l'analyse de leur cycle de vie et de l'innovation technologique pour améliorer leur traitement et leur recyclage.



RÉSULTAT REMARQUABLE

La prédictivité pour optimiser la recherche et l'exploitation des ressources minérales

Dans le domaine des ressources minérales, la prédictivité se développe à toutes les étapes, depuis l'aide à la découverte de gisements jusqu'à la valorisation des déchets miniers. L'enjeu : maximiser les rendements, diminuer les coûts et réduire l'impact environnemental des activités d'exploration et d'exploitation, dans un contexte de tension des approvisionnements en substances minérales critiques.

La prédictivité, Guillaume Bertrand, géologue expert en ressources minérales, la met au service de l'exploration en produisant une cartographie de la favorabilité de la présence d'occurrences minérales, appelée justement « cartographie prédictive ». « Elle accroît la probabilité de découvrir des gisements en orientant vers les zones les plus favorables les travaux exploratoires, qui sont onéreux et qui mobilisent des techniques de plus en plus invasives au fil de leur avancement. Il convient donc de bien cibler ces opérations, afin d'en optimiser le ratio coûts/bénéfices et d'en limiter l'impact sur l'environnement. » L'extraction de ressources naturelles comptant parmi les usages du sous-sol, la cartographie prédictive constitue également une aide à la décision pour l'aménagement du territoire.

Plusieurs projets visent à développer ces outils, en particulier pour les matières premières critiques utiles à la transition énergétique et numérique, dans le but de sécuriser les approvisionnements nationaux. C'est l'objectif du projet GSEU (Geological Service for Europe) lancé fin 2022, qui réunit 48 organismes autour de la mise en place d'un service géologique au niveau européen, le BRGM coordonnant le volet sur les ressources minérales. « GSEU fait suite au projet GeoERA-Frame, achevé en 2021, qui incluait la cartographie prédictive, à l'échelle européenne, de sept ressources minérales critiques,



GUILLAUME BERTRAND

Géologue expert en ressources minérales



DOUGLAS PINO HERRERA

Ingénieur chercheur en génie des (bio)procédés



SYLVAIN GUIGNOT
Ingénieur chercheur, responsable de projets

rappelle Guillaume Bertrand. Il élargit les travaux à l'ensemble des substances considérées comme critiques en Europe, avec un focus sur celles nécessaires à la transition énergétique, et vise à affiner la cartographie au niveau des grandes provinces géologiques comme la ceinture ibérique et le bouclier fennoscandien. » L'enjeu : faciliter la découverte de nouveaux gisements pour relocaliser en Europe une partie de l'extraction et de la production de ressources minérales critiques, comme le prévoit le Critical Raw Materials.

La cartographie prédictive peut être enrichie, comme dans le projet EIS (Exploration Information System) en cours, par des modèles de gisements qui, en facilitant la compréhension des processus de formation des minéralisations, renforcent sa précision et sa fiabilité.

Coupler simulation et ACV (analyse du cycle de vie)

La modélisation numérique est aussi utilisée pour étudier les procédés d'extraction des métaux à partir des minerais, en particulier la biolixiviation, technique utilisant des bactéries. « Le BRGM a développé des modèles CFD

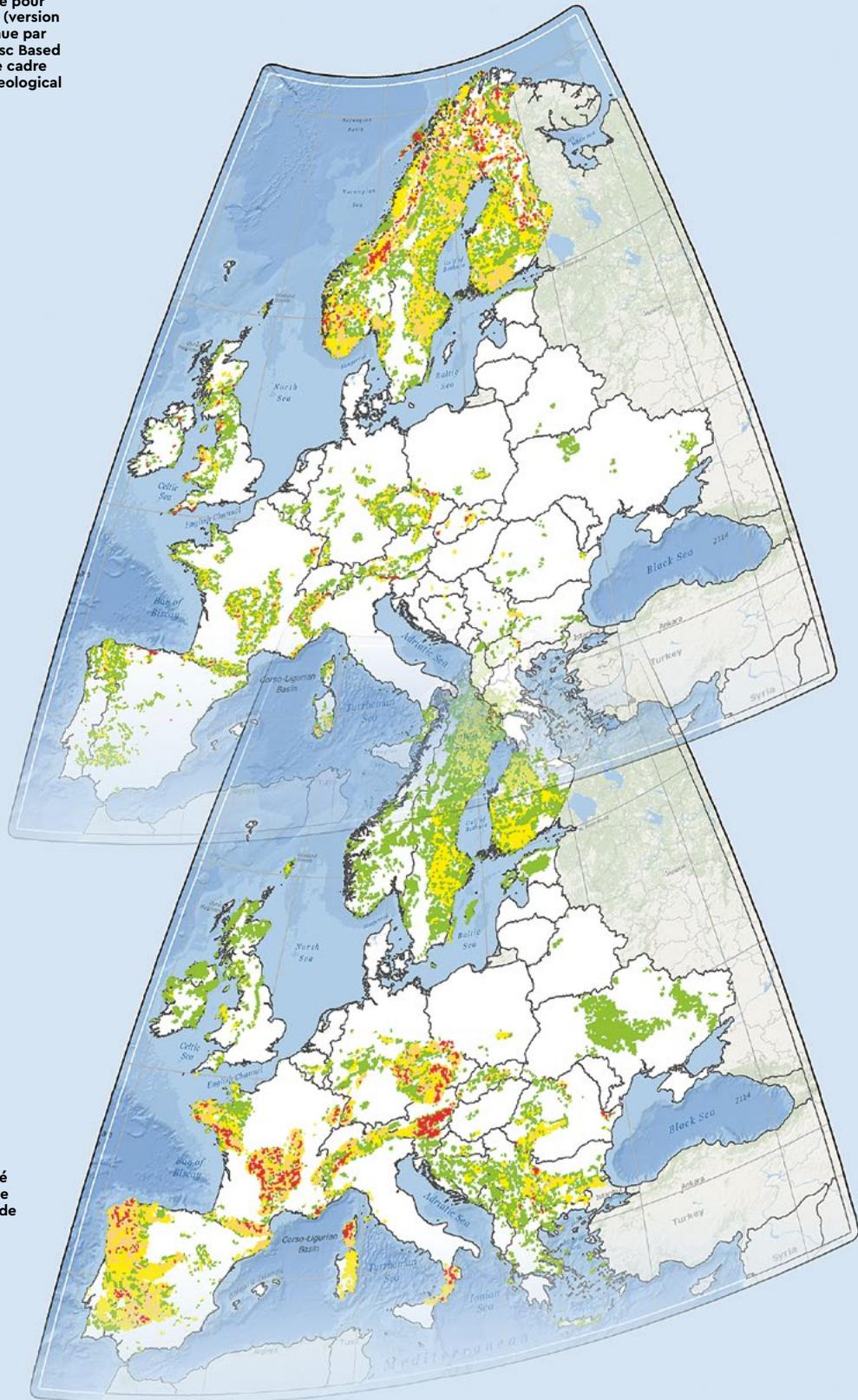
(Computational Fluid Dynamics) mais aussi cinétiques et thermodynamiques pour décrire, comprendre et prédire les phénomènes physicochimiques et biologiques à l'œuvre lors de ce processus et évaluer les consommations de réactifs



Carte de favorabilité pour le cobalt en Europe (version préliminaire), obtenue par la méthode DBA (Disc Based Association) dans le cadre du projet GSEU – Geological Service for Europe.
© BRGM

Favorabilité du cobalt

- Très basse
- Basse
- Moyenne
- Haute
- Très haute



Carte de favorabilité du lithium en Europe obtenue par méthode CBA (Cell Based Association).
© BRGM

Favorabilité du lithium

- Très basse
- Basse
- Moyenne
- Haute
- Très haute

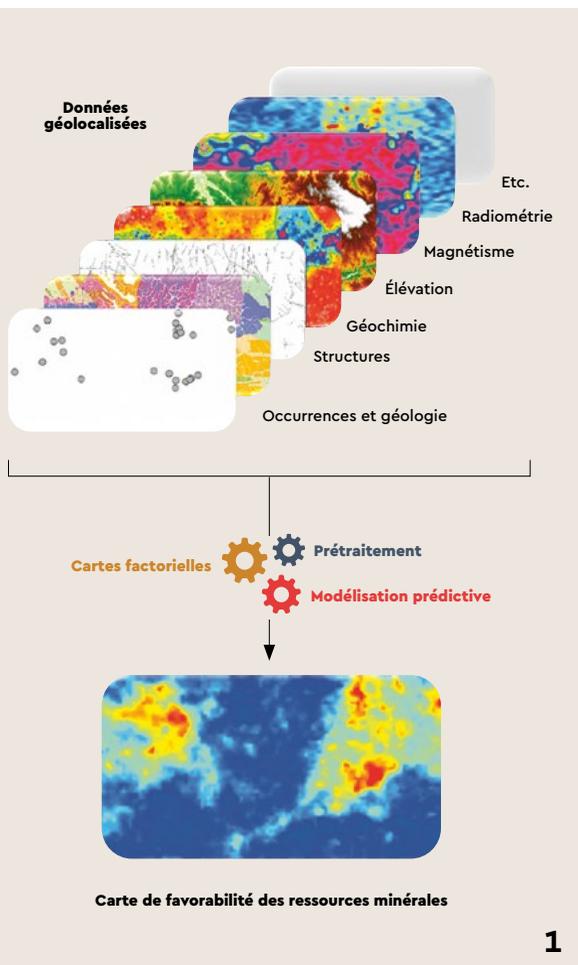


Image 1 — Schéma des principaux types de données utilisables en cartographie prédictive et des principales étapes de leur traitement. © BRGM

Image 2 — Modélisation CFD du comportement d'un fluide dans un réacteur agité de biolixiviation. La CFD aide à prédire la dissipation de l'énergie du fluide (à gauche) et la vitesse et la direction de son mouvement (à droite). © BRGM - C. LOUBIÈRE

nous intéressons en particulier aux boues produites par l'extraction du cuivre et du nickel, qui représentent plusieurs milliards de tonnes par an au niveau mondial! Rejetées dans de grands bassins, celles-ci présentent non seulement un risque de pollution de l'environnement, notamment au contact de l'eau, mais contiennent aussi des éléments qui pourraient être réutilisés, comme la silice et l'aluminium. *« Ils ont été solubilisés mais peuvent reformer, par géopoly-mérisation, des matériaux potentiellement utilisables sur site, comme couverture des bassins de stockage ou comme remblai des cavités créées par l'industrie extractive. »* Aussi le BRGM a-t-il développé un modèle géochimique de ces mécanismes, qui permet d'évaluer le potentiel de géopoly-mérisation d'une boue et de prédire les propriétés d'usage des matériaux formés, notamment leurs contraintes à la compression. *« Ce modèle représente bien les cas que nous avons étudiés mais doit encore être développé pour devenir généralisable. »* ●

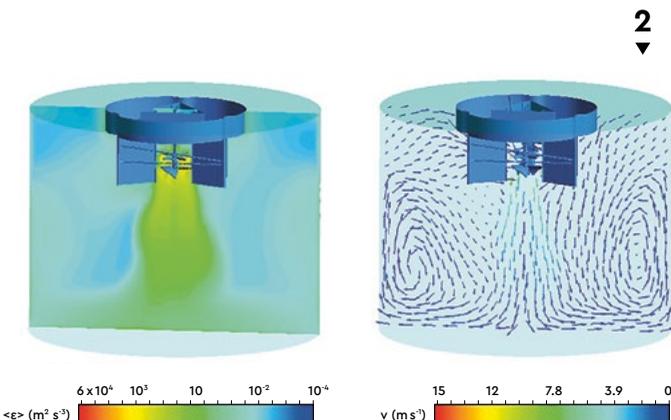
●●●● et d'énergie, indique Douglas Pino Herrera, ingénieur en (bio)procédés. Cela permet de déterminer quelles conditions physicochimiques et hydrodynamiques améliorent l'efficacité et l'efficacité. »

La simulation des procédés peut également alimenter la méthode ACV (analyse du cycle de vie) appliquée aux matières minérales, pour déterminer leurs impacts environnementaux selon les techniques utilisées. *« Ce couplage se retrouve dans des projets européens comme HiQ LCA et CICERO, démarrés en 2023, ou encore InnovTech, dans le cadre du PEPR SOUS-SOL: Bien commun, qui explorent l'écoconception de procédés d'extraction et de purification, en particulier pour le nickel et le cobalt »*, décrit Douglas Pino Herrera. La modélisation contribue enfin à évaluer la faisabilité technico-économique d'un procédé, depuis son développement jusqu'à son industrialisation. Le projet H2O2O NEMO par exemple, terminé en 2022, cherchait à réduire les coûts de la biolixiviation pour la rendre pertinente pour l'extraction des métaux contenus dans les déchets miniers.

Reformer des matériaux

Le projet Iterams, achevé en 2020, visait déjà la valorisation des résidus de traitement. *« Ce sujet est toujours d'actualité, confirme Sylvain Guignot, ingénieur chercheur. Nous*

« La prédictivité accroît la probabilité de découvrir des gisements en orientant vers les zones les plus favorables les travaux exploratoires, afin d'en optimiser le ratio coûts/bénéfices et d'en limiter l'impact sur l'environnement. »



**BENJAMIN GALLEZOT**

Délégué interministériel pour l'approvisionnement en métaux et minéraux stratégiques (DIAMMS)

« Le BRGM est un acteur très important de notre stratégie en matière de minerais et métaux stratégiques, sujet majeur pour notre industrie. »

Quels sont les nouveaux enjeux en termes d'approvisionnement en métaux et minéraux stratégiques ?

BENJAMIN GALLEZOT — Les besoins en métaux stratégiques vont augmenter fortement au cours des prochaines décennies, notamment dans le cadre de la transition énergétique. L'approvisionnement de ces métaux est un sujet majeur pour notre industrie et le gouvernement a engagé une politique ambitieuse pour mobiliser l'ensemble des acteurs. Dans ce cadre, le BRGM a un rôle très important. C'est l'un des acteurs de notre stratégie, et l'un des principaux partenaires dans sa mise en œuvre. Il a déjà des compétences fortes dans le domaine de la connaissance des minerais et métaux critiques, une re-priorisation de cette thématique est en cours au sein des activités de l'établissement.

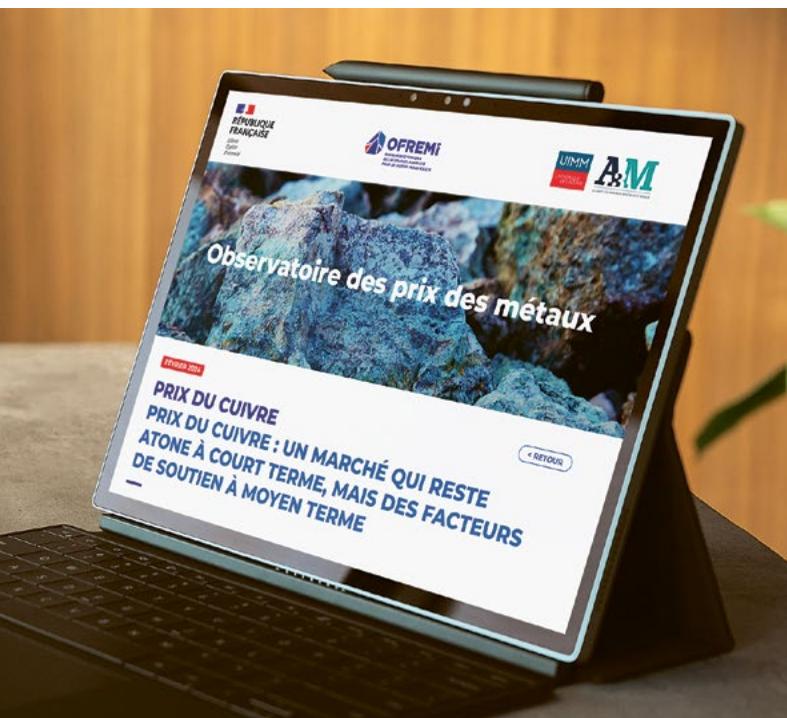
Cela s'incarne à travers quels projets ?

B.G. — D'une part l'OFREMI. Initié avec le rapport Varin sur l'approvisionnement en métaux stratégiques, l'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles a été mis en place il y a un an et demi. Le BRGM en est l'un des acteurs

centraux, et coordonne l'action des différents établissements publics concernés. D'autre part, l'inventaire des ressources minérales et minières (IRM). Suite à une décision annoncée par le président de la République en septembre 2023, il s'agit de relancer un programme d'exploration et d'inventaire qui n'avait pas été fait depuis de nombreuses années, avec de nouvelles techniques et de nouveaux savoir-faire. Le BRGM en est le maître d'œuvre. Nous en attendons des résultats réguliers, et une coopération avec un écosystème d'entreprises, de laboratoires et de centres universitaires de manière à pouvoir appliquer les meilleures technologies, et notamment l'intelligence artificielle. La dimension de mise à disposition de ces données est importante.

La diplomatie des métaux concerne aussi le BRGM ?

B.G. — Dans ce que nous appelons en effet la diplomatie des métaux, la coopération internationale entre services géologique est majeure. Le BRGM est un des grands intervenants de cette coopération technique en Europe et dans le monde, et nous intensifions les partenariats avec de nouveaux pays. Nous avons enfin, avec le BRGM, l'ambition d'une stratégie de R&D mieux coordonnée, qui réunisse l'ensemble des acteurs académiques et industriels, et plus ambitieuse en termes d'innovation. ●



L'OFREMI LANCE UN OBSERVATOIRE DES PRIX DES MÉTAUX INDUSTRIELS

L'Observatoire français des ressources minérales pour les filières industrielles (OFREMI), l'UIMM (Union des industries et des métiers de la métallurgie) et l'Alliance des minerais, minéraux et métaux (A3M) ont créé en 2023 une nouvelle publication trimestrielle : chaque édition fournit aux industriels et au gouvernement français un tableau de bord des prix des métaux cotés sur le London Metal Exchange (LME), assorti d'un commentaire de la conjoncture. Des modèles statistiques de prévision des prix à court terme ont en outre été développés avec le concours d'économistes de l'université Paris Dauphine-PSL. Disponibles en ligne, les premiers numéros – sur le cuivre et le nickel – sont parus en juillet 2023 et le dernier paraîtra le 15 avril 2024. Ils seront intégrés au SI-OFREMI en cours de développement, une plateforme numérique à l'accès sécurisé qui regroupera l'ensemble des données et analyses produites dans le cadre de cet observatoire.

UN PROCÉDÉ IONOMÉTALLURGIQUE DURABLE POUR LE TRAITEMENT DE CERTAINS MINÉRAIS

Lancé en 2019, le projet H2020 ION4RAW qui impliquait 13 partenaires dont le BRGM, s'est achevé fin 2023. Un procédé de lixiviation douce par ionoméallurgie développé dans le cadre du projet a été testé à l'échelle pilote sur différents types de minerais polymétalliques en provenance de trois pays différents (Espagne, Pérou et Écosse). Ce procédé innovant permet, en combinant l'utilisation de solvants eutectiques et une récupération des métaux lixiviés par électrochimie, d'extraire à la fois les métaux principaux économiques Cu, Ag et Au mais également de concentrer certains sous-produits non valorisés jusqu'à présent parmi les métaux cibles du projet (Bi, Co, Ge, In, Mo, Pt, Re, Sb, Se, Te). Le BRGM était chargé dans le cadre de ce projet, de réaliser la caractérisation détaillée de la composition chimique et minéralogique des minerais afin de comprendre la répartition de ces petits métaux disséminés et d'identifier les espèces minérales porteuses pour appréhender les rendements de récupération du procédé. Une cartographie de l'évaluation du potentiel des sous-produits en Europe a également été produite.

UN ACCORD AVEC MANAGEM POUR UNE CROISSANCE DURABLE DE SON ACTIVITÉ

Le BRGM a signé en juillet 2023 un accord-cadre de partenariat avec Managem, important et historique opérateur minier qui compte 22 sites et 6 000 salariés sur le continent africain. Cette collaboration, suivant des axes stratégiques priorisés conjointement, doit aider le groupe marocain à réaliser ses ambitions de développement de son activité en Afrique et de croissance durable et responsable. Les trois premiers projets en construction portent sur la compréhension du potentiel en différents matériaux indispensables à la transition énergétique dans plusieurs régions, celle de Marrakech, le massif du Sirwa ou encore les provinces du Sud.



**Cathodes de cobalt produites
et commercialisées par Managem.**
© BRGM – C. BONIN

MADITRACE POUR DES APPROVISIONNEMENTS EN MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES PLUS RESPONSABLES

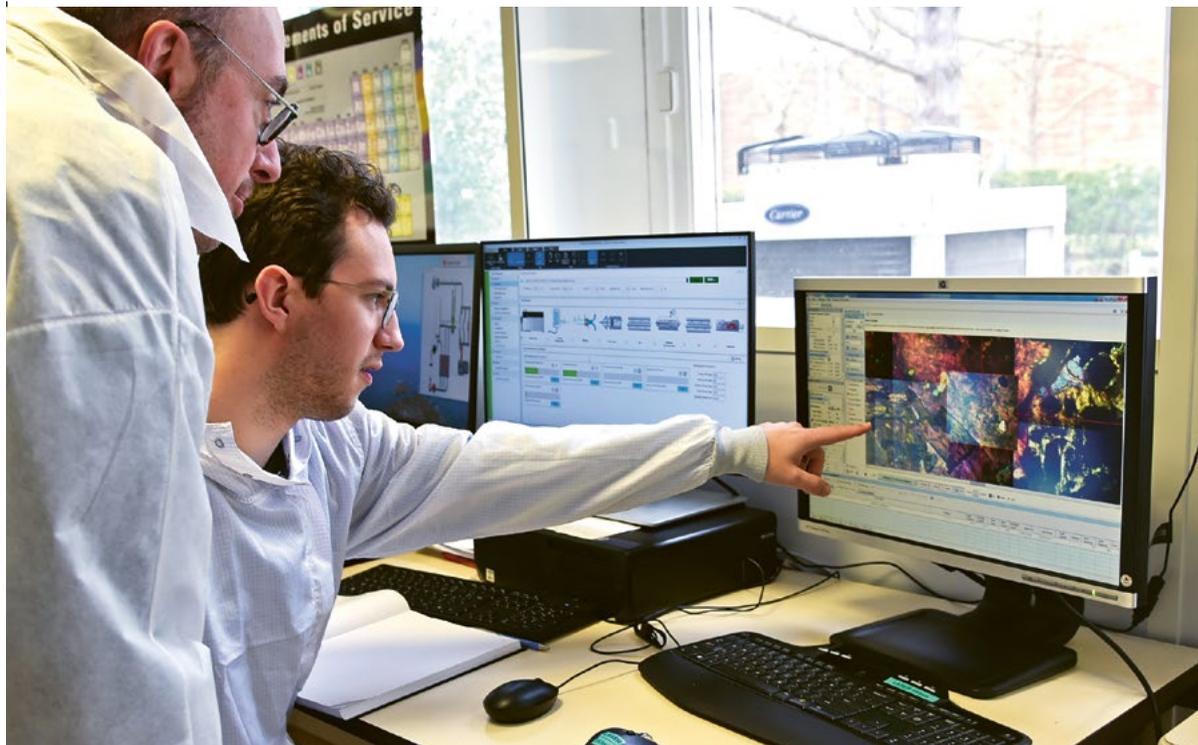
Portant sur la traçabilité des matières premières minérales pour les batteries et la mobilité électrique (cobalt, lithium, graphite, terres rares), le projet Horizon Europe MaDiTraCe vise à promouvoir des pratiques industrielles responsables. Il consiste à bâtir un système garantissant au consommateur final, *via* le « passeport batterie », la certitude des sources d'approvisionnement, tout en assurant la conformité avec les normes internationales. La méthodologie combine les atouts de la traçabilité par la géochimie et la science des matériaux et ceux des outils numériques comme la blockchain. Il s'agit ainsi de sécuriser la chaîne d'approvisionnement mais aussi de renforcer la transparence et la confiance des parties prenantes et de répondre aux préoccupations croissantes en matière de durabilité.

Purification chimique du néodyme pour l'étude de traçabilité des terres rares contenues dans des aimants permanents.

© BRGM - C. BOUCLEY

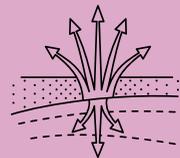
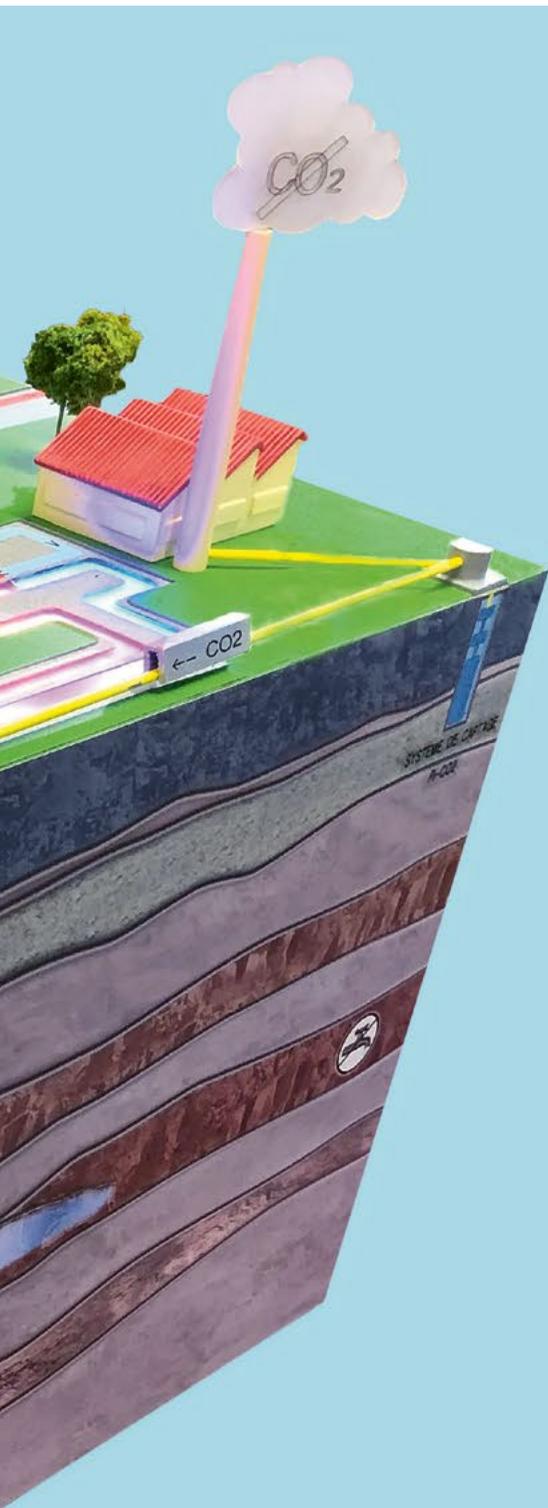
LA CLASSIFICATION UNFC POUR ÉVALUER LES PROJETS AUTOUR DE MATIÈRES PREMIÈRES CRITIQUES EN FRANCE

Jusqu'à-là, la Commission européenne (DG GROW) incitait les États membres à rendre compte annuellement des progrès des projets de production de matières premières critiques en utilisant le système de classification des ressources minérales « UNFC », développé par les Nations unies. Ce suivi devenant obligatoire avec le CRM Act, la DG GROW élabore actuellement une base de données exhaustive pour l'Union européenne, en s'appuyant sur les services géologiques européens. Le BRGM, *via* une convention avec le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, est chargé d'adapter la méthodologie de l'UNFC au contexte français, d'identifier et de classer les projets autour de matières premières critiques grâce à une veille active. Déjà partie prenante de projets européens où ce système est implémenté (GSEU, FutuRaM), l'établissement promeut également l'application de l'UNFC en France et participe à des séminaires internationaux pour présenter ses résultats.





Concept CO₂-DISSOLVED : capter le CO₂ d'un émetteur industriel pour le dissoudre dans l'eau de réinjection d'un doublet géothermique ou comment combiner décarbonation de l'industrie et production d'énergie renouvelable. © BRGM



TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET ESPACE SOUTERRAIN

Le sous-sol contribue aussi à la transition énergétique

Dans un contexte d'accélération de la transition énergétique en Europe et de hausse des prix de l'énergie, le sous-sol et ses propriétés peuvent contribuer à diversifier le mix énergétique avec des solutions renouvelables et décarbonées, à des coûts compétitifs. L'espace souterrain peut en effet participer à la production d'énergie géothermique et au stockage d'énergie, tout en étant un élément essentiel pour les politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre grâce au stockage de CO₂. Le BRGM mobilise ses compétences et sa capacité de recherche et de développement pour explorer, étudier et exploiter le potentiel du sous-sol, notamment à l'échelle des territoires. Il favorise ainsi la mise en œuvre de dispositifs économiquement viables, à faible impact environnemental.



RÉSULTAT REMARQUABLE

Bonnes pratiques pour maîtriser la sismicité induite dans les projets de géothermie profonde

Conçu comme un outil opérationnel au service prioritairement des exploitants, un guide de bonnes pratiques en géothermie profonde a été publié en 2023 par le BRGM, en collaboration avec l'Ineris. Assorti de la mise en place d'une formation, il vise à améliorer la prévention de la sismicité induite par ces opérations.

Le 12 novembre 2019, un séisme largement ressenti survient dans la région de Strasbourg. Non loin de là, à Vendenheim, deux forages sont développés en vue de l'installation d'un doublet géothermique descendant jusqu'à 5 kilomètres dans le sous-sol. Un comité d'experts conclut à un séisme induit par ces opérations. Si l'exploration du site est stoppée, l'événement met en évidence le besoin de mieux évaluer et mieux prendre en compte ce risque. D'où la décision d'élaborer un guide visant à renforcer la prévention autour des opérations de géothermie profonde.

À la demande de la Direction générale de la Prévention des risques (DGPR) au sein du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, et de la Direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) au sein du ministère de la Transition énergétique, le BRGM et l'Ineris s'attellent à la tâche, dans le sillage de la réforme du code minier de 2021 et de la loi Climat et résilience. Les enjeux sont multiples et complémentaires : « *Sécuriser les investissements des exploitants de la géothermie profonde, soutenir les politiques publiques des collectivités en matière de transition énergétique et assurer les populations d'une conduite responsable et maîtrisée des opérations*, énonce Pascal Dominique, sismologue. *Dans un contexte de changement climatique, cette source*



JULIE MAURY

Sismologue



PASCAL DOMINIQUE

Sismologue

d'énergie renouvelable et non intermittente peut en effet contribuer à la transition vers un mix énergétique moins carboné.»

Applicable à tous les projets de géothermie profonde

Paru en juin 2023 et diffusé sur les sites institutionnels (ministères, BRGM, Ineris...) et spécialisé (geothermies.fr), le *Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de la sismicité induite par les opérations de géothermie profonde* s'adresse à l'ensemble des parties prenantes de la filière : exploitants, pouvoirs publics, riverains, élus et associations. Il est aussi applicable à tous les projets de géothermie profonde,

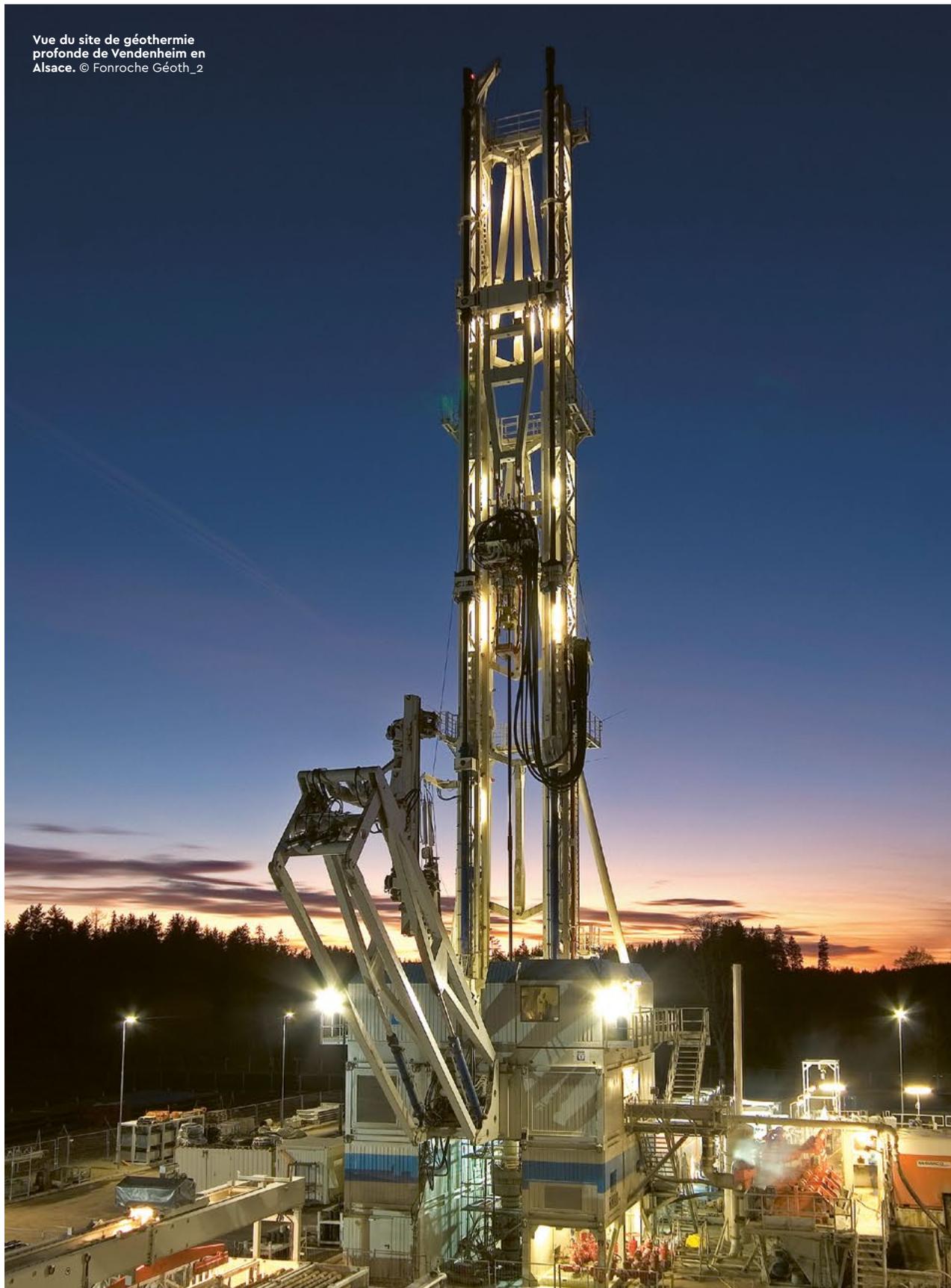
couvrant les différentes typologies de réservoirs géothermiques et de méthodes d'exploitation rencontrées sur le territoire métropolitain et dans les départements et régions d'outre-mer.

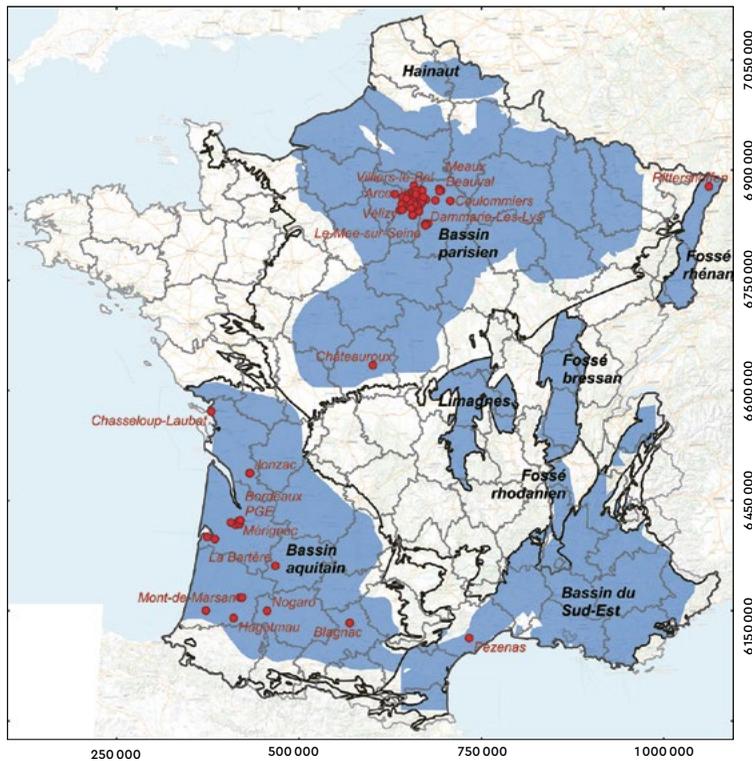
Pensé comme un mode d'emploi, il s'appuie sur de nombreux retours d'expérience, sur l'état actuel des connaissances scientifiques ...

1
▼



Vue du site de géothermie
profonde de Vendenheim en
Alsace. © Fonroche Géoth_2





● Installations de géothermie profonde actives et en développement pour la production de chaleur (Sybase 01/23)

□ Emprise des bassins géologiques

■ Ressources géothermiques profondes potentielles

▲
2

Image 1 — Le Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de la sismicité induite par les opérations de géothermie profonde" à pour vocation d'être enrichi à l'avenir par les expériences et les acquis des différents acteurs du secteur. © BRGM

Image 2 — Carte des ressources géothermiques profondes potentielles et des installations de géothermie profonde actives et en développement pour la production de chaleur. © BRGM

« Ce guide pallie un vrai manque et permet d'initier la diffusion et le partage de bonnes pratiques afin de favoriser, par le renforcement de la maîtrise des projets, la poursuite du développement de la géothermie profonde en France. »

... dans le domaine de la sismicité induite par injection de fluide dans le sous-sol profond et sur une méthode mise au point par le BRGM et l'Ineris. « Nous avons fait le choix, explique Julie Maury, sismologue, de proposer des "arbres de décision" : à chaque étape clé d'un projet, d'avant le premier forage jusqu'à la cessation de l'activité, en passant par les périodes de stimulation, le guide aide à évaluer le niveau de l'aléa de sismicité induite. Il livre également des recommandations sur les données à acquérir pour anticiper autant que possible le comportement hydromécanique du réservoir mais aussi sur le réseau de surveillance et le pilotage des opérations selon le niveau d'aléa sismique. » Le guide pose en outre les bases pour définir les protocoles opérationnels permettant de déployer les opérations, en fonction des technologies mises en œuvre et de la micro-sismicité détectée.

À l'interface entre recherche et industrie

La sortie de ce guide s'est accompagnée de journées de formation en octobre 2023. Une formation construite à partir de ses enseignements et de ses recommandations sera en outre proposée par le BRGM et l'Ineris fin 2024, puis chaque année. L'objectif est identique : favoriser, chez les exploitants, une plus grande maîtrise des risques liés

à la sismicité induite par les opérations de géothermie profonde. « Pour tout projet de ce type, il est essentiel de bien connaître la géologie du sous-sol et de comprendre les phénomènes naturels, notamment sismiques, susceptibles d'être activés par les travaux, afin de minimiser leur probabilité et leur intensité », résume Pascal Dominique.

Situé à l'interface entre la recherche et l'industrie, le guide se veut enfin « vivant ». « En fonction des applications qui en seront faites, de l'avancée des connaissances et des nouveaux retours d'expérience, le contenu pourra être enrichi, précisé ou modifié », avance Julie Maury. « Ce guide, poursuit Pascal Dominique, constitue un premier référentiel – il n'en existait pas jusqu'à présent – concernant ce risque. Il pallie un vrai manque et permet d'initier la diffusion et le partage de bonnes pratiques afin de favoriser, par le renforcement de la maîtrise des projets, la poursuite du développement de la géothermie profonde en France. » ●



SOPHIE MOURLON

Directrice générale de l'Énergie et du Climat

« Que ce soit pour la géothermie ou les usages du sous-sol, la collaboration avec le BRGM est très précieuse. Le BRGM met à disposition une expertise de haut niveau. La complémentarité entre experts et administration est très efficace. »

Quel contexte amène la DGEC à travailler avec le BRGM ?

S.M. — La Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) a pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre la politique relative à l'énergie, aux matières premières énergétiques, ainsi qu'à la lutte contre le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique. Dans le domaine du sous-sol, la DGEC œuvre notamment au développement de la filière géothermie qui constitue un levier majeur pour décarboner la production de chaleur. Les objectifs de la prochaine stratégie française pour l'énergie et le climat requièrent une forte croissance du rythme des projets de géothermie profonde et de surface. Pour accélérer ce développement, le gouvernement a lancé un plan d'action national en février 2023, actualisé en décembre 2023.

Quels travaux mène le BRGM dans ce cadre ?

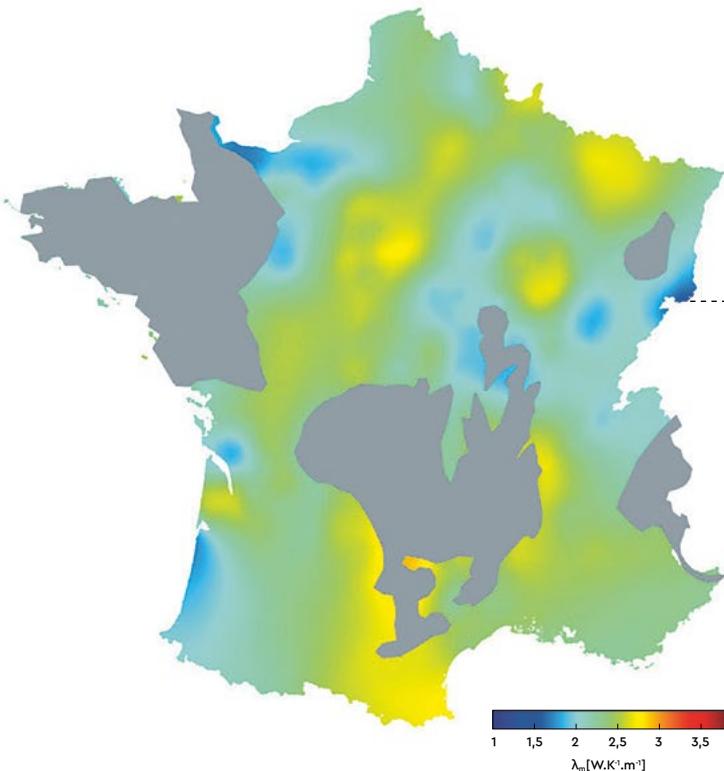
S.M. — Pour la mise en œuvre de ce plan, le BRGM mène des travaux pour améliorer la connaissance du sous-sol et ainsi favoriser le lancement de projets de géothermie profonde et de surface. En géothermie de surface, il s'agit d'abord de dresser une cartographie des propriétés

thermiques des terrains pour la mise en place de sondes géothermiques verticales. En géothermie profonde, les travaux s'appuient sur l'identification et l'analyse de données géologiques suffisamment récentes (forages, lignes sismiques), en particulier sur les territoires susceptibles de valoriser à court terme les ressources caractérisées (présence d'un nombre conséquent de réseaux de chaleur à verdir, perspectives de déploiement de nouveaux réseaux de chaleur...).

Quelle est la place de la géothermie profonde en Outre-mer ?

S.M. — Les territoires d'outre-mer comme La Réunion, Mayotte, la Martinique et la Guadeloupe sont tous situés en domaine insulaire volcanique actif, ce qui en fait des territoires favorables au développement de la géothermie, énergie non intermittente et décarbonée, en particulier pour la production électrique. À ce jour, seule la Guadeloupe dispose d'une centrale géothermique en fonctionnement. Dans la foulée de la loi d'accélération des énergies renouvelables, le BRGM prépare un rapport sur les potentialités de la géothermie dans les zones non interconnectées au réseau métropolitain continental, en particulier à La Réunion, qui sera remis au parlement et rendu public. Le potentiel géothermique de la plupart de ces îles est réel même s'il doit être confirmé par les forages exploratoires coûteux (plusieurs millions d'euros). ●

DE NOUVELLES ÉTUDES POUR FAVORISER LE DÉVELOPPEMENT DE LA GÉOTHERMIE EN FRANCE



Dans le cadre du plan gouvernemental pour accélérer le déploiement de la géothermie, le BRGM a signé avec l'État, en 2023, une convention pluriannuelle portant sur plusieurs études. La réalisation d'un inventaire national géothermique profond, consistant à préciser la caractérisation des cibles géothermiques profondes, a ainsi été lancée. Cet outil doit favoriser le passage à l'acte des maîtres d'ouvrage et des opérateurs de tels projets. Le BRGM a également commencé à établir une carte nationale d'étiquettes énergétiques pour la mise en œuvre de sondes géothermiques verticales. Celle-ci doit encourager le déploiement de cette technologie, destinée notamment aux opérations de petite taille.

Estimation de la conductivité thermique du sous-sol sur une épaisseur de 100 m, l'un des paramètres nécessaires au calcul d'une étiquette énergétique du sous-sol (zones grisées en cours d'évaluation).
© BRGM

HYLIFE ET LES IMPACTS MICROBIENS SUR LE STOCKAGE D'HYDROGÈNE

Pour garantir la sûreté, l'efficacité et la viabilité économique de son stockage souterrain, il est crucial de comprendre l'impact sur l'hydrogène (H₂) des nombreux micro-organismes naturellement présents dans le sous-sol et susceptibles de s'en nourrir. Le projet HyLife, lancé fin 2023, consiste à établir un panorama européen de la diversité et de l'activité de ces micro-organismes, à travers l'analyse et la caractérisation de plusieurs sites de stockage potentiels dans toute l'Europe (cavités salines, aquifères, réservoirs déplétés). Il s'agit d'identifier des facteurs clés pour sélectionner les plus favorables.

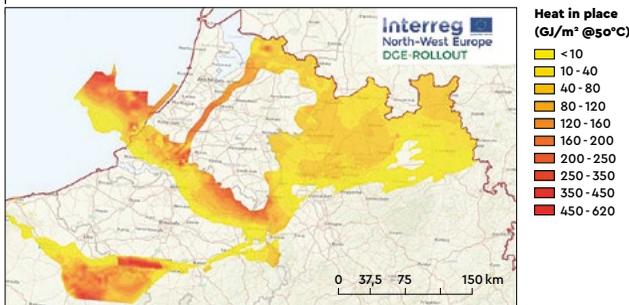
MIMAROC : LA PLATEFORME EST OPÉRATIONNELLE

Laboratoire du BRGM, la plateforme MIMAROC a été inaugurée en 2023. Elle couple des cellules d'expérimentation *in situ* et des moyens numériques d'analyse d'images permettant un suivi *in operando* des processus thermo-hydro-méca-chimiques (THMC). Les modèles THMC ainsi développés renforceront la capacité à prédire les évolutions des systèmes souterrains aux échelles de temps nécessaires à l'évaluation de sûreté des technologies étudiées, en particulier pour la géothermie et le stockage de CO₂.

SOUTENIR L'EXPANSION DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE EN EUROPE DU NORD-OUEST

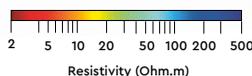
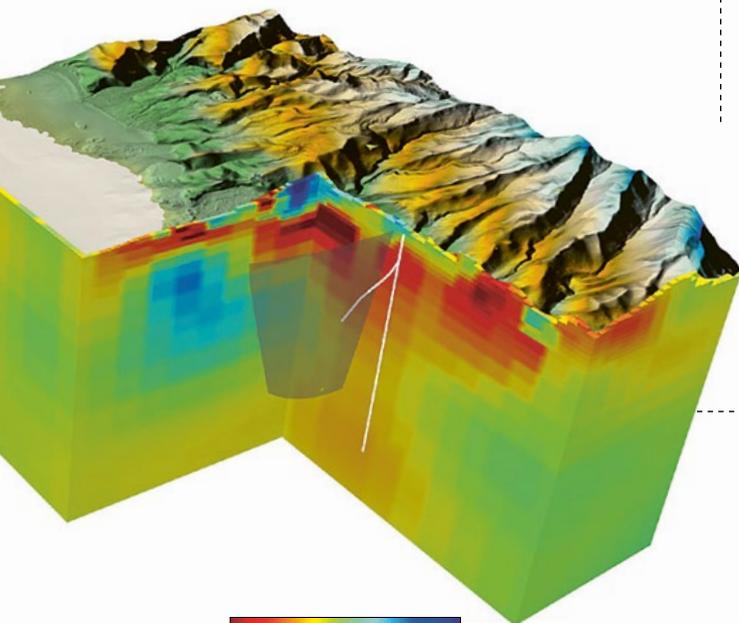
Réunissant la France, l'Allemagne, les Pays-Bas et la Belgique, le projet DGE-ROLLOUT (2019-2023) visait à favoriser, pour les réseaux de chaleur urbains, le recours à l'énergie géothermique profonde dans les calcaires du Dinantien (Carbonifère). Se concentrant sur les Hauts-de-France, le BRGM en a étudié le potentiel de géothermie profonde, incluant les besoins en surface, afin de déterminer les zones favorables au déploiement de cette technologie. S'appuyant sur ces résultats, Engie Solutions a proposé un projet de géothermie pour l'usine Renault de Douai, permettant de décarboner 67% de ses besoins thermiques.

Carte de la chaleur en place pour le réservoir du Dinantien dans l'Europe du Nord-Ouest.
© BRGM



CO₂-DISSOLVED: VERS UN DÉPLOIEMENT INDUSTRIEL ET COMMERCIAL

Le projet CO₂-Dissolved entre dans une nouvelle phase. Après une évaluation technico-économique positive du concept, qui associe stockage de CO₂ dissous en aquifère et récupération d'énergie géothermique, un nouvel accord de partenariat lie le BRGM, SLB et Sageos autour de la réalisation d'un premier pilote commercial. Deux sites sont pressentis, en Centre-Val de Loire et en Île-de-France, où les études de préfaisabilité démarreront dès 2024. Ce premier pilote pourrait ainsi voir le jour sous deux à cinq ans.



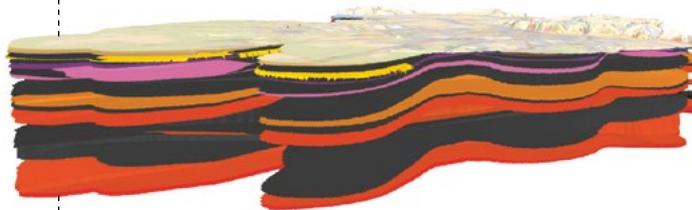
Modèle de résistivité autour de la centrale de Bouillante qui permet d'apercevoir un potentiel réservoir géothermique. Le modèle est réalisé pour la première fois grâce à l'utilisation d'une acquisition jointe terre-mer de méthode électromagnétique.

DÉVELOPPER LA GÉOTHERMIE DE SURFACE SUR LA MÉTROPOLE DE BORDEAUX...

Entre 2018 et 2023, le BRGM a mené avec Bordeaux Métropole, et le soutien de l'Ademe, un programme de R&D visant à développer la géothermie de surface sur ce territoire. Une application en ligne a été créée, qui met à disposition les connaissances des ressources géothermiques sur les premières centaines de mètres de profondeur. Une étude sur le potentiel de couverture des besoins des bâtiments par la géothermie a également été initiée, sans toutefois permettre de l'évaluer en raison d'un manque de données. Enfin, un appui aux porteurs de projets a permis de concrétiser de nombreuses installations de géothermie sur le territoire.

Modèle géologique de Bordeaux Métropole représentant le sous-sol jusqu'à un maximum de 660 m de profondeur. Les plans représentés sont : en couleur, les toits des principaux aquifères qui constituent les ressources géothermiques sur nappe ; en noir, les toits des principales formations peu perméables.

© BRGM

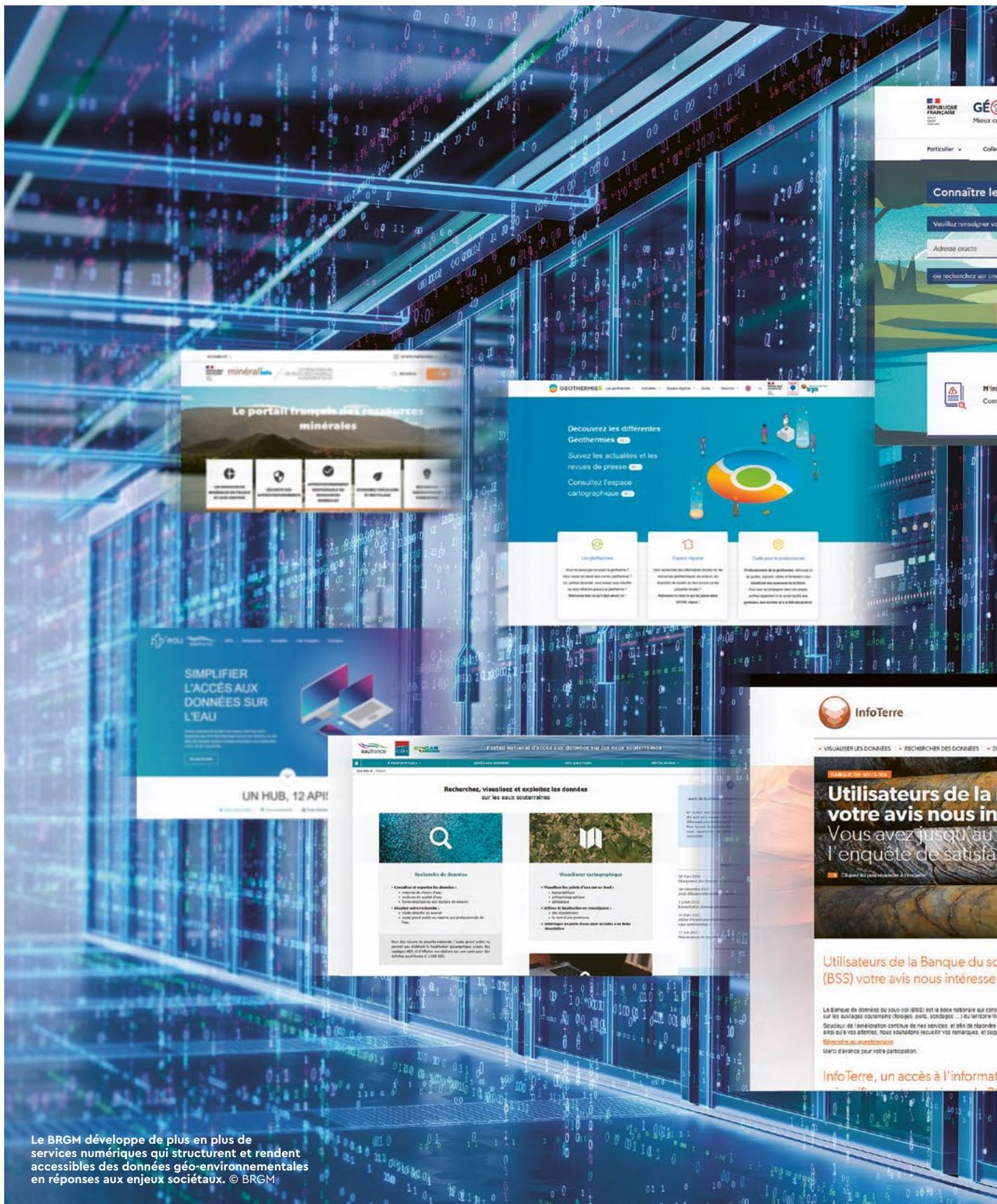


... ET SUR LA MÉTROPOLE DE CHARTRES

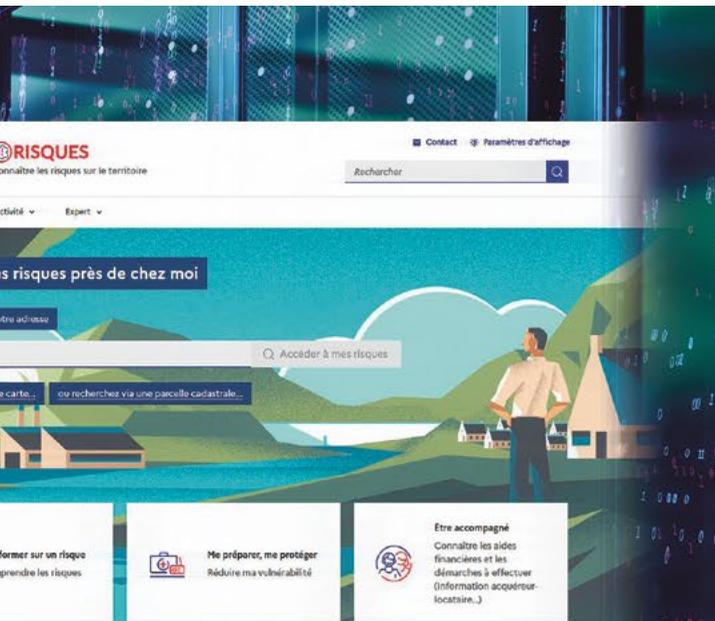
La géothermie de surface pourrait couvrir jusqu'à 36 % des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire sur Chartres Métropole. C'est ce que conclut une étude du BRGM qui consistait, d'une part, avec le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB), à estimer les besoins des bâtiments et, d'autre part, à évaluer le potentiel énergétique de la géothermie de surface (assistée par pompe à chaleur) sur le territoire. La cartographie produite combine caractéristiques du sous-sol, besoins des bâtiments, contraintes foncières et réglementaires et densité urbaine.

CARAÏBE : DEUX MÉTHODES D'EXPLORATION GÉOTHERMIQUE INNOVANTES

Dans le cadre du programme Transition énergétique dans la Caraïbe (Interreg V – TEC 2019-2023), le BRGM a développé une nouvelle approche d'exploration géophysique en Guadeloupe – exportée ensuite à Saint-Vincent – issue de la combinaison de méthodes électromagnétiques adaptées. Celle-ci a permis d'évaluer la continuité en mer du réservoir géothermique de Bouillante. L'établissement a également mené la première étude connue sur la géochimie des eaux géothermales des îles de Guadeloupe, Martinique, Dominique, Montserrat et Sainte-Lucie, dont une des principales retombées a été d'améliorer les estimations de température des réservoirs géothermiques. Le BRGM a, par ailleurs, remis à l'Assemblée nationale un rapport sur les potentialités géothermiques des îles de Guadeloupe, Martinique, La Réunion, Mayotte et Saint-Pierre-et-Miquelon.



Le BRGM développe de plus en plus de services numériques qui structurent et rendent accessibles des données géo-environnementales en réponses aux enjeux sociétaux. © BRGM



DONNÉES,
SERVICES ET
INFRASTRUCTURES
NUMÉRIQUES

Accélérer le développement des services numériques des données géo-environnementales

L'acquisition, l'hébergement et la mise à disposition de données géo-environnementales constituent un enjeu majeur pour l'ensemble des thématiques portées par le BRGM. Le BRGM développe une démarche de science ouverte sur l'ensemble de son activité afin de proposer une information fiable et pérenne sur le sous-sol, son état, ses propriétés et ses ressources. Les sciences des données et l'intelligence artificielle apportent aujourd'hui une aide précieuse pour exploiter des données d'origines diverses et hétérogènes et pour fournir des services numériques accessibles à différents publics. Cela contribue à apporter des réponses aux problématiques liées au changement climatique, à l'aménagement durable des territoires, à la gestion des ressources et à la maîtrise des risques.





RÉSULTAT REMARQUABLE

EaSy Data rassemble les données de « longue traîne » de la Terre et de l'environnement

L'entrepôt thématique national des données dites « orphelines » ou « de longue traîne » de l'environnement et du système Terre est né en 2023. Dans le cadre de l'infrastructure de recherche Data Terra, EaSy Data, porté par le BRGM, vise à capitaliser tout un pan des données de la recherche publique dans le domaine des sciences de la Terre et de l'environnement.

Contrairement aux données d'observation qui sont par essence structurées, une part non négligeable des données issues de la recherche publique sur le système Terre et l'environnement restent peu ou pas organisées ou même partagées. Elles ne sont pas systématiquement archivées dans des entrepôts, et pas suffisamment documentées. Ces données, que l'on appelle « orphelines » ou de « longue traîne », constituent pourtant un sujet stratégique dans la mesure où il s'agit de pérenniser le fruit des recherches dont elles sont issues.

La problématique est assez générale et commune à l'ensemble des domaines de la recherche scientifique. Cependant, alors que le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, avec son plan national pour la science ouverte veut favoriser l'ouverture et le partage des données, des publications et des codes sources, le sujet vient de trouver sa solution concernant les sciences de la Terre.

Une diffusion large et obligatoire des données de la recherche publique

Le 6 novembre 2023, EaSy Data, entrepôt thématique national français des données orphelines ou de longue traîne de l'environnement et du système Terre, a ainsi été inauguré au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.



**HÉLÈNE
BRESSAN**

Chef de projet
vocabulaires
et qualité de
la donnée

Cet entrepôt, porté par l'infrastructure de recherche nationale Data Terra, est opéré par le BRGM. Il s'inscrit plus largement dans le cadre du plan national pour la science ouverte initié en 2018, qui vise à structurer les actions en faveur de l'ouverture et du partage des données, des publications et des codes sources de projets financés sur fonds publics.

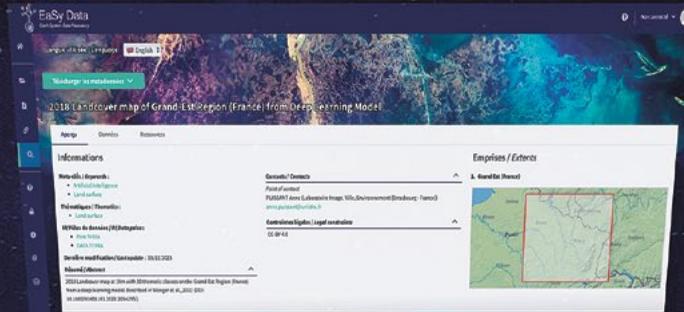
Un entrepôt de données développé par une équipe projet virtuelle

La création de tels entrepôts permet aux chercheurs de déposer et référencer les données de leurs travaux. Une plateforme nationale destinée à fédérer ces données, Recherche Data Gouv (RDG), a été créée pour cela. EaSy Data en est l'un des premiers composants.

EaSy Data est mis à disposition de la communauté scientifique du système Terre pour faire face aux enjeux environnementaux majeurs comme le changement climatique, la ressource eau, les risques naturels, l'énergie durable, etc. Il permettra de confronter, réutiliser, partager ou redécouvrir des données.

L'entrepôt utilise la norme de métadonnées ISO 19115, standard international des données géospatiales. L'outil de catalogage employé est Geonetwork, développé en open source. Les données sont entreposées dans le datacentre

L'entrepôt national de données "EaSy Data" a pour but de centraliser, organiser et partager les nombreuses données dites orphelines sur la thématique de l'environnement et du système Terre. © BRGM



•••• du BRGM, et l'expertise des équipes de l'établissement (le projet a mobilisé près de 20 personnes) a été au cœur des développements réalisés avec l'appui des équipes infrastructure.

Une équipe de pilotage « virtuelle » s'est réunie pendant deux ans pour la mise en place (Véronique Bertrand, CNRS-Epos-France; Hélène Bressan, BRGM; Christelle Pierkot, CNRS - DataTerra et Marine Vernet, IFREMER - DataTerra). Une surcouche applicative a été développée pour faciliter la saisie, adaptée aux besoins du chercheur. Une équipe de modération composée de scientifiques des pôles de données et volontaires est présente pour assurer la compatibilité avec les périmètres définis.

Des retours encourageants de la part des déposants

Au final, c'est une réussite du BRGM doublée d'une belle histoire et d'une aventure humaine avec quatre femmes qui ont travaillé uniquement en virtuel pour EaSy Data pendant deux ans.

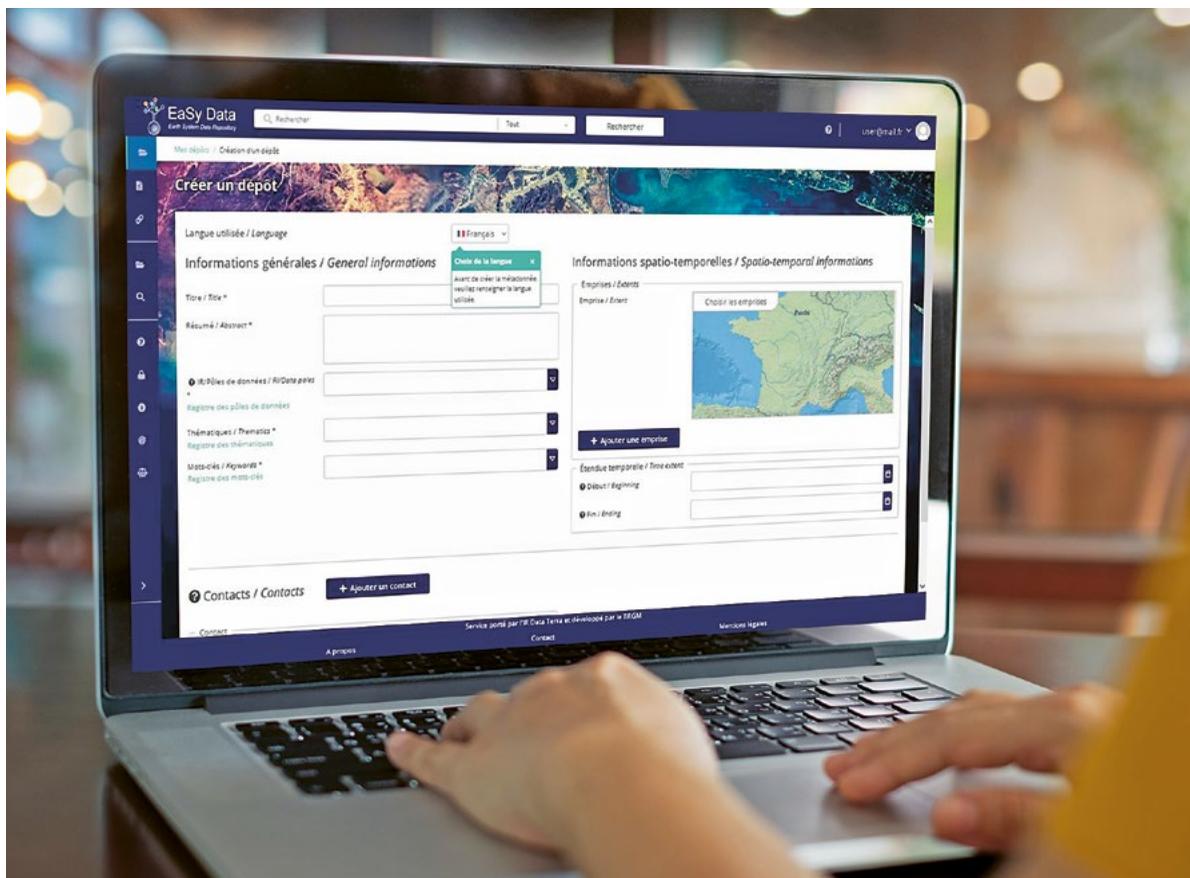
Les dépôts par des chercheurs ont commencé d'emblée. Les retours sont encourageants de la part des déposants et l'entrepôt a déjà permis l'attribution de plus de 20 DOI (identifiants pérennes), ce qui montre que l'entrepôt répond à un besoin des communautés. Certes le dépôt n'est

pas obligatoire, mais la pratique est largement encouragée car clairement dans l'intérêt du chercheur pour partager son travail, améliorer sa data citation et contribuer à une recherche plus reproductible.

Des perspectives se dessinent déjà, avec l'amélioration de l'accès, un travail sur le vocabulaire et la sémantique pour faciliter le dépôt par exemple. La mise en œuvre de l'entrepôt EaSy Data témoigne bien des actions menées par le BRGM dans le cadre de sa politique de science ouverte. ●

«EaSy Data s'inscrit dans le cadre du plan national pour la science ouverte qui vise à structurer les actions en faveur de l'ouverture et du partage des données, des publications et des codes sources.»

L'interface de saisie de description des jeux de données permet de renseigner facilement les informations demandées, en français et/ou en anglais. Les déposants s'identifient soit via leurs identifiants ORCID ou Renater, soit par la création d'un compte. © BRGM





ISABELLE BLANC

Administratrice ministérielle des données, des algorithmes et des codes sources, Conseillère auprès de la directrice générale Recherche et Innovation et de la directrice générale Enseignement supérieur et Insertion professionnelle.
National Chief data and software officer.

«Le BRGM est en avance sur l'un des sujets majeurs au cœur de nos politiques, à savoir l'ouverture de ses données et leur réutilisation par les chercheurs et la société dans son ensemble.»

Comment peut-on décrire l'état de la collaboration avec le BRGM dans le domaine de la donnée ?

ISABELLE BLANC — Le BRGM est en avance sur des sujets majeurs au cœur de nos politiques publiques, à savoir la production, le partage et l'ouverture de ses données et leur réutilisation par les chercheurs et la société dans son ensemble. Le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR) est l'une des trois tutelles du BRGM. À ce titre, il soutient les recherches du BRGM autour de la compréhension des phénomènes géologiques et des risques associés. L'établissement exerce, notamment, un rôle de producteur expert et de diffuseur des données sur le sol, le sous-sol et les ressources. L'action combinée de ses recherches et de sa production de données contribue aux travaux sur l'anticipation et l'évaluation des risques naturels, la préservation des ressources naturelles, l'évaluation des ressources minérales, la gestion des eaux souterraines, la géothermie et aux énergies renouvelables. Avant que l'importance de l'ouverture des données ne soit pleinement reconnue, le BRGM avait déjà développé une solide expertise dans la collecte et la fiabilisation des données de géosciences. Avec une ouverture plus

large des données, le BRGM s'affirme désormais comme un acteur engagé dans les domaines des sciences de la Terre et de l'environnement.

Peut-on résumer les principaux projets menés en ce moment ?

I.B. — Le BRGM contribue à l'écosystème de partage et d'ouverture des données Recherche Data Gouv, au travers de deux projets de Data Terra : le portail EaSy Data pour les données de longue traîne du système Terre et le pôle Terre solide. Par ailleurs, le BRGM héberge un des datacentres régionaux labélisés par le MESR. Il contribue également au développement de la politique des données de la recherche grâce à son Chief Data Officer.

Plus largement, quelle est votre vision de la mise en œuvre de la politique Science ouverte dans le cadre d'un établissement comme le BRGM ?

I.B. — Le BRGM développe des services autour des données qu'il produit. Ces services s'adressent à des communautés dépassant celle de la recherche. Il est porteur d'une mission forte d'appui aux politiques publiques et met à disposition ses données auprès des citoyens, ainsi que des entreprises pour l'innovation. Ses services de données et son expertise permettent au BRGM de nouer des partenariats publics comme privés avec des industriels ou des entreprises de plus petites tailles. ●

LANCEMENT DU PORTAIL DE DONNÉES EPOS SUR LA TERRE SOLIDE

Après plus de 20 ans de recherche et d'innovation, le portail de données d'EPOS (European Plate Observing System), l'infrastructure de recherche pour les sciences de la Terre solide, a été présenté officiellement à la communauté scientifique (EGU23, European Geosciences Union). Pour favoriser la recherche pluridisciplinaire, le portail propose un accès ouvert et intégré à plus de 260 lots de données et services en ligne couvrant une dizaine de thèmes (sismologie, géomagnétisme, géodésie, tsumani...). Au sein du consortium « Geological Information and Modelling » qu'il coordonne, le BRGM fournit des données françaises de carte géologique à 1/1 000 000, de forages et de modèles géologiques.

www.epos-eu.org
www.ics-c.epos-eu.org

Services thématiques de données sur le portail cartographique EPOS. Les cercles roses sont des groupes de stations de mesure géodésique. Les cercles gris sont des groupes de stations de mesure magnéto-tellurique.

© EPOS ERIC

REFONTE MAJEURE DE L'APPLICATION DE GESTION INFORMATISÉE DES DONNÉES D'AUTOSURVEILLANCE FRÉQUENTE

Collecter les résultats d'analyses (eaux, air, bruit) pour contrôler le respect des prescriptions d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), ou pour l'Agence de l'eau chargée du recouvrement de la redevance pour pollution de l'eau... C'est le but de l'application GIDAF (Gestion informatisée des données d'autosurveillance fréquente), proposée aux exploitants d'installations sensibles en termes de pollution. Le BRGM et la DGPR (Direction générale de la Prévention des risques) en ont fait une refonte technique et ergonomique majeure en mettant l'accent sur une consultation massive des utilisateurs via enquête de satisfaction et recueil de besoins.

MINERALINFO PLUS ACCESSIBLE

Dans le cadre de la transition énergétique et de la réduction de notre dépendance aux énergies fossiles, le portail des ressources minérales Mineralinfo propose un annuaire des substances critiques.

L'approche UX/UI, centrée sur l'utilisateur, a permis une meilleure compréhension de l'information par le grand public : usage et consommation, production mondiale, ressources et réserves... Des paramètres devenus plus accessibles et intelligibles permettant de comprendre comment se positionne chacune des substances dans une matrice de criticité.

www.mineralinfo.fr



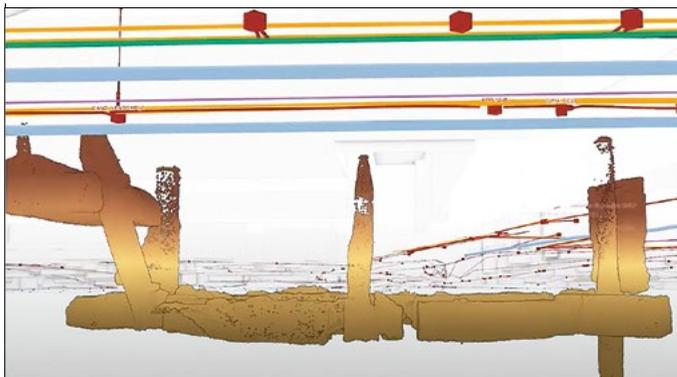
RNDTS ET TRACKDÉCHETS RAPPROCHÉS POUR MIEUX SUIVRE LES DÉCHETS

Alors que deux services numériques se partagent actuellement la traçabilité des déchets, terres excavées et sédiments, il a été décidé de les faire converger. Il s'agit de Trackdéchets qui permet d'assurer la traçabilité des déchets dangereux, et le RNDTS (Registre national des déchets, terres excavées et sédiments), pour déclarer les mouvements des déchets, des terres excavées et des sédiments. Il s'agit de simplifier les démarches des utilisateurs et le contrôle par les services de l'État. Le BRGM est chargé de rapprocher les deux applications et d'en garantir la robustesse et la pérennité à long terme, avec entre autres un design harmonisé, une authentification et des profils utilisateurs uniques.



LANCEMENT DE JUNON, JUMEAUX NUMÉRIQUES AU SERVICE DES RESSOURCES NATURELLES

Avec dix projets, le programme JUNON développe un pôle de recherche numérique sur l'environnement continental en Centre-Val de Loire. Le développement des premiers jumeaux numériques a démarré, et le BRGM a réalisé des progrès significatifs sur les jumeaux EAU, avec notamment la caractérisation de trois secteurs aux comportements distincts en Beauce. En parallèle, des consultations utilisateurs ainsi que des études comparatives sur les technologies orchestratrices de données ont été menées afin de mieux planifier l'architecture des futures plateformes de JUNON.



Sous-sol orléanais : Localisation des réseaux de canalisations enterrées et visualisation 3D des cavités sous l'ancien hôpital Porte Madeleine.

© ESRI [LIVE] SIG 2023

STANDARDISATION DES DONNÉES GÉOSCIENTIFIQUES

Membre de l'Open Geospatial Consortium (OGC), le BRGM travaille à l'interopérabilité des données géosciences et environnement. Après avoir contribué à plusieurs standards (géologie, hydrogéologie, hydrologie de surface, API pour l'échange d'observation), il a copiloté en 2023 la révision du standard "Observations, measurements & samples" pour faciliter le dialogue entre communautés scientifiques et techniques. Ce qui pourrait être le socle de nombreux systèmes d'information à dimension d'observation ou d'échantillon.



**Classement des lots de terres sur
une plateforme de traitement.**

© BRGM - N. DUBRAC

RESSOURCES HUMAINES

Une politique RH fondée sur la compétence, l'équité et l'accompagnement

Malgré un contexte social marqué par des revendications, relayées par la direction auprès des ministères de tutelle, l'année 2023 a vu l'amélioration de certains dispositifs de soutien aux salariés, ainsi qu'une révision de la cartographie des emplois scientifiques et techniques. Une évaluation indépendante a par ailleurs attesté la performance de la politique Diversité-Inclusion du BRGM.

« Mature » : c'est ainsi que l'organisme Mixity, expert en diversité-inclusion, qualifie le BRGM, dont la politique en la matière affiche un score global de 74/100. « Cette étude nous a permis d'évaluer objectivement notre politique, de nous situer par rapport aux autres entreprises et d'identifier nos marges de progrès », explique Marie Belossat. Plusieurs volets ont été analysés, mettant en évidence la performance de l'établissement en matière d'inclusion du handicap (85/100), d'égalité entre les genres (80/100) et de diversité des générations (84/100). « Tout cela est le fruit d'une politique déployée depuis près de dix ans, qui repose sur l'inclusion par la compétence et le souci de l'équité, avec des engagements formalisés par des accords d'établissement et des actions pour réduire les écarts entre les agents et prendre en compte leurs difficultés. » L'accent est mis également sur la sensibilisation, élargie à toutes les formes de handicap jusqu'aux moins visibles. Un nouvel accord sur la Gestion

MARIE BELOSSAT
Directrice des Ressources humaines

ANNE GAUTHIER
Directrice adjointe des Ressources humaines

des emplois et des parcours professionnels (GEPP) est par ailleurs en cours de négociation avec les représentants du personnel.

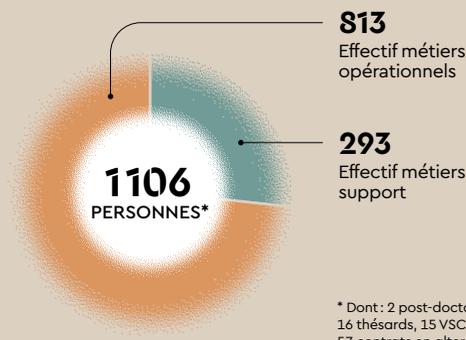
Deux autres axes de la politique Diversité-Inclusion du BRGM sont toutefois à renforcer, à commencer par la condition des personnes LGBTQIA+ (55/100). « Nous veillons à prévenir toute forme de discrimination par une sensibilisation sur l'orientation sexuelle et l'identité de genre, à travers notamment un grand quiz

annuel », indique Marie Belossat. Un guide des bonnes pratiques pour accompagner la transition de genre au travail a également été réalisé et diffusé en 2023. La dimension multiculturelle (56/100) a, quant à elle, vocation à être développée « par le renforcement de l'attractivité du BRGM à l'international et une politique incitative de recrutement de doctorants étrangers ».

Une mobilité interne encouragée

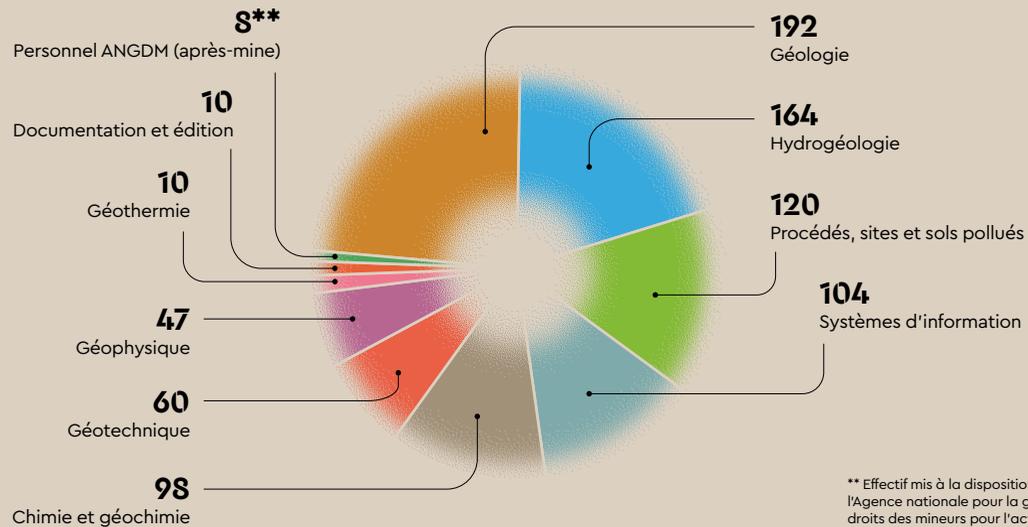
Avec 48% des postes ouverts l'an dernier pourvus par ce biais (contre 20% en moyenne au niveau national), la mobilité interne (69 salariés en 2023) est un autre point fort de la politique RH du BRGM. « Elle favorise l'évolution des compétences, le maintien de la motivation et de l'employabilité des salariés, dans un objectif de préservation des talents, ainsi qu'une meilleure connaissance de l'entreprise », fait valoir Marie Belossat. Un nouvel accord d'établissement a été signé en 2023 afin d'encourager la mobilité interne et de mieux accompagner les salariés en mobilité géographique (avec un volet spécifique pour l'Outre-mer). « Outre une revalorisation de la prime, il prend mieux en compte le changement de vie qu'implique un nouveau lieu de travail, pour la personne comme pour sa famille. » La possibilité est, par exemple, offerte d'effectuer des missions de reconnaissance sur place. Autant d'améliorations qui résultent des nombreux échanges menés avec des salariés ayant déjà fait l'expérience de la mobilité géographique.

EFFECTIF DU BRGM au 31/12/2023



RÉPARTITION DE L'EFFECTIF PAR MÉTIERS

Effectif métiers opérationnels



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

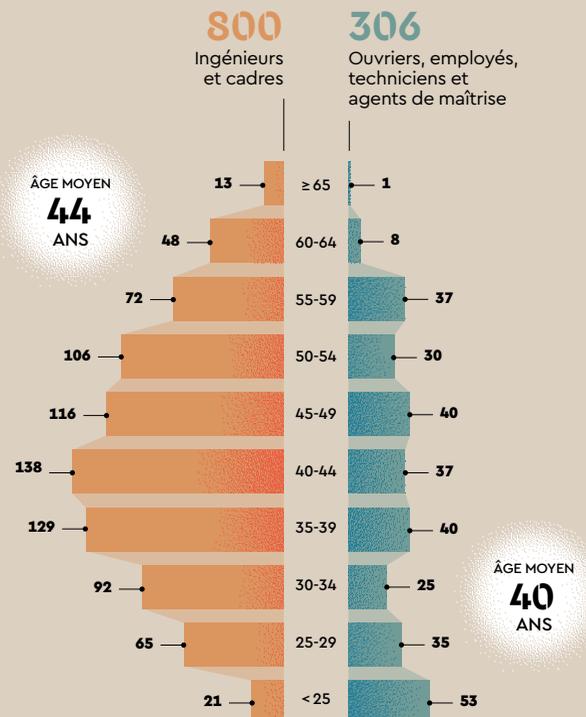
« Notre politique Diversité-Inclusion repose sur l'inclusion par la compétence et le souci de l'équité, avec des engagements formalisés par des accords d'établissement et des actions pour réduire les écarts entre les agents et prendre en compte leurs difficultés. »

Une nouvelle cartographie des emplois scientifiques

Suite à sa labellisation HRS4R (*Human resources strategy for researchers*) en 2021, le BRGM a révisé la cartographie de ses emplois scientifiques et techniques, en s'inspirant des meilleures pratiques et du référentiel européen Euraxess et en s'appuyant sur la réforme de sa programmation scientifique. « Cette nouvelle cartographie est plus lisible, plus complète et plus représentative des spécificités de ces activités, en intégrant notamment le continuum expertise-recherche, souligne Marie Belossat. Elle permet également de visualiser les parcours de carrière possibles dans chaque filière. » Fin 2023, la totalité des emplois concernés (plus de 600) avaient été repositionnés. Ce travail de révision se poursuit en 2024 avec les fonctions support et de management. ●

PYRAMIDE DES ÂGES PAR CLASSIFICATION

au 31/12/2023



DÉVELOPPEMENT DURABLE

Une politique RSE globale qui s'amplifie et s'accélère

Partie intégrante de sa stratégie et de son Contrat d'objectifs, de moyens et de performance (COMP) 2023-2027, la politique de responsabilité sociétale de l'entreprise (RSE) du BRGM ne cesse de s'étoffer et se structurer. Conçue et animée par une équipe renforcée, elle se déploie dans les domaines social, éthique et environnemental où elle se concentre notamment sur la réduction de l'empreinte carbone de l'établissement.

C'est à partir des données de 2019, choisie comme année de référence, que le BRGM a finalisé en 2023 son premier bilan carbone (scopes 1, 2 et 3). Une base sur laquelle il s'est ensuite fondé pour bâtir un premier plan de transition – première pierre du futur schéma directeur Développement durable et RSE – comprenant une vingtaine d'actions prioritaires. *« La moitié visent à améliorer la collecte des données dans le but d'affiner la mesure et le pilotage de notre empreinte environnementale, que nous calculerons chaque année afin d'évaluer les améliorations mais aussi d'identifier les marges de progrès »,* explique Philippe Sabourault, responsable RSE, qui affiche l'objectif : -10 % d'émissions de gaz à effet de serre en 5 ans.

L'accent est mis notamment sur les achats, responsables de la majeure partie des émissions du BRGM. *« Nous souhaitons introduire dans nos consultations des questions*

« Nous souhaitons introduire dans nos consultations des questions quantitatives, et non plus seulement qualitatives, sur l'empreinte carbone du produit ou du service proposé. Les réponses nous permettront d'évaluer l'offre au plan environnemental, tout en alimentant le calcul de notre bilan carbone. Cela impulsera également une dynamique vertueuse auprès de nos fournisseurs. »

PHILIPPE SABOURAULT
Responsable RSE

HERVÉ RIOILLAND
Responsable du service Audit-Risques-Qualité

quantitatives, et non plus seulement qualitatives, sur l'empreinte carbone du produit ou du service proposé. Les réponses nous permettront d'évaluer l'offre au plan environnemental, tout en alimentant le calcul de notre bilan carbone. Cette démarche impulsera également une dynamique vertueuse auprès de nos fournisseurs. »

D'autres actions sont initiées ou poursuivies, notamment sur la mobilité, les déplacements des salariés représentant un quart des émissions. Ainsi, le renouvellement de la flotte avec des véhicules moins carbonés, électriques ou hybrides, continue, assorti du déploiement de nouvelles bornes de recharge. Le report modal vers les mobilités douces, en particulier le vélo, est encouragé à travers la participation à des événements comme *Mai à vélo* et son Challenge d'activité à vélo. Et les alternatives telles que la visioconférence sont promues pour limiter les déplacements professionnels.

Rénovation du parc immobilier

Concernant les consommations énergétiques, la marche vers la sobriété s'est accélérée depuis 2022, suite à la guerre en Ukraine. Outre la transition vers des énergies moins carbonées (chaudières électriques, réseau de chaleur), elle se traduit par une stratégie de rénovation du parc immobilier du site d'Orléans, à partir de l'évaluation énergétique du patrimoine bâti entre 1968 et 2003. Les premières études ont été réalisées en 2023. *« Le plan de rénovation qui en découlera se doublera d'une optimisation des espaces occupés dans le cadre du télétravail, et donc des consommations énergétiques associées, ainsi que d'aménagements favorisant l'accessibilité des bâtiments pour les personnes en situation de handicap. »*

Ce volet de la politique Diversité-Inclusion du BRGM (lire page 64) s'est enrichi en 2023, avec la mise en œuvre d'un nouvel accord d'établissement et la prise en compte de tous les handicaps, visibles mais aussi invisibles (épilepsie, endométriose, daltonisme, autisme...). Le programme



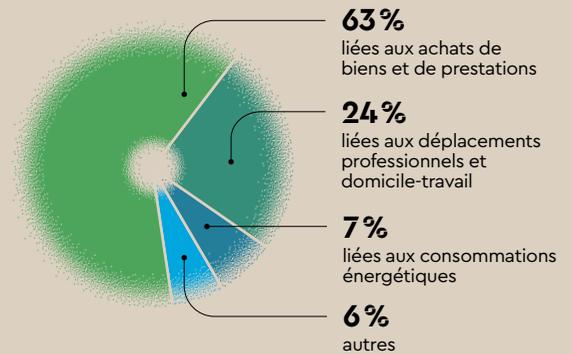
Borne de recharge électrique.
19 bornes installées sur le centre scientifique d'Orléans en 2023.
© BRGM - A. LEGENDRE

de la Semaine européenne pour l'emploi des personnes handicapées, par exemple, proposait diverses animations pour sensibiliser à la « neurodiversité » et faire du BRGM un établissement toujours plus « handi-accueillant ». Une réflexion a, par ailleurs, été initiée sur la situation des salariés proches aidants, visant à mieux répondre à leurs attentes. En matière d'éthique enfin, l'établissement entend redynamiser son dispositif garantissant la déontologie et l'intégrité dans ses activités scientifiques et d'expertise, à travers la refonte de la gouvernance dédiée, l'intensification de la formation des salariés et la généralisation des bonnes pratiques. ●

UNE SOLIDE DÉMARCHE D'AMÉLIORATION CONTINUE DES PERFORMANCES

Les deux certifications du système de management de la qualité et de l'environnement (SMQE) – ISO 9001 et ISO 14001 – ont été confirmées en 2023. « Dispositif structurant et levier de pilotage, le SMQE démontre l'attention portée par le BRGM à la satisfaction de ses parties intéressées, internes et externes, au respect des réglementations et à la maîtrise des impacts environnementaux de ses activités », souligne Hervé Riolland, responsable du service Audit-Risques-Qualité. La prévention des risques s'est par ailleurs étoffée en 2023. La mise en place d'un bilan trimestriel des analyses obligatoires en amont de tout projet permet d'identifier les principaux risques et ainsi de prendre ou d'adapter les mesures pour les maîtriser. Quant au bilan de projet instauré en 2022, il permet de disposer des retours d'expérience des chefs de projet. Plus de 500 formulaires ont été reçus l'an dernier, dont l'exploitation contribue à optimiser les performances du BRGM en matière de pilotage des projets et d'impact environnemental des activités.

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DU BRGM 2019



19 points de recharge électrique à la disposition des salariés sur le site d'Orléans à fin 2023

Plus de 3 000 km parcourus à vélo par les salariés lors de l'édition 2023 du Challenge d'activité à vélo

54 bâtiments du site d'Orléans à diagnostiquer dans le cadre de l'évaluation énergétique du patrimoine bâti

328 salariés assistant à la web conférence « Et si votre collègue était un zèbre (HPI) ? » et 70 visionnages en replay

5,11% de taux d'emploi des travailleurs handicapés

78% de réussite en 2023 à la formation (MOOC) contre les violences sexistes et sexuelles au travail, rendue obligatoire pour les nouveaux salariés

Comité de direction



Catherine Lagneau
Présidente-Directrice générale

Christophe Poinssot
Directeur général délégué
Directeur scientifique

Directions de programme



CONNAISSANCE
DES SYSTÈMES
GÉOLOGIQUES
Pierre Nehlig
Directeur de programme



IMAGERIE ET
MODÉLISATION
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
Michaël Chelle
Directeur de programme



EAUX SOUTERRAINES
ET CHANGEMENT
GLOBAL
Alain Dupuy
Directeur de programme



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



TRANSITION
ÉNERGÉTIQUE ET
ESPACE SOUTERRAIN
Francis Claret
Directeur de programme

1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



- 1 — Jean-Marc Trouillard**
Secrétaire général
- 2 — Philippe Freyssinet**
Directeur de la Recherche, de la Programmation scientifique et de la Communication
- 3 — Marie Belossat**
Directrice des Ressources humaines
- 4 — Catherine Bonin**
Directrice de l'Innovation et des Activités commerciales et internationales
- 5 — Christophe Didier**
Directeur des Géoressources
- 6 — Francis Garrido**
Directeur Eau, Environnement, Procédés et Analyses
- 7 — Karim Ben Slimane**
Directeur Risques et Prévention
- 8 — Arnaud Garnier**
Directeur du Numérique pour les géosciences
- 9 — Jean-Marc Mompelat**
Directeur des Actions territoriales
- 10 — Natacha Girold**
Directrice financière

Conseil d'administration et comités

Conseil d'administration

Janvier 2024

Présidente du conseil d'administration

Catherine Lagneau

Commissaire du Gouvernement

Florence Riou

EN QUALITÉ DE REPRÉSENTANTS DU MINISTRE CHARGÉ :

— DE LA RECHERCHE

Didier Marquer, Chargé de mission Sciences de la Terre, Géorressources et Géotechnologies, Direction générale pour la Recherche et l'Innovation

Suppléante : Fatima Laggoun, Directrice de Recherche CNRS et Chargée de mission « Surfaces et Interfaces Continentales », Direction générale pour la Recherche et l'Innovation (ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche)

— DE L'ENVIRONNEMENT

Anne-Cécile Rigail, Cheffe du service des Risques technologiques

Suppléant : Jean-Luc Perrin, Sous-directeur des Risques chroniques et du Pilotage (ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires – DGPR)

— DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES

Tristan Dufes, Sous-directeur des Secteurs stratégiques, Direction de la diplomatie économique

Suppléant : Pierre Robion, Chef du pôle Énergie, sous-direction des Secteurs stratégiques, Direction de la Diplomatie économique (DE/STRAT), (ministère de l'Europe et des Affaires étrangères)

— DE LA COOPÉRATION

Natacha Ephimoff, Sous-directrice de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (DCERR/ESR), Direction générale de la Mondialisation, de la Culture, de l'Enseignement et du Développement

Suppléante : Leïla Chabane, Cheffe du pôle Pilotage des opérateurs et Stratégies sectorielles (DGM/DCERR/ESR), (ministère de l'Europe et des Affaires étrangères)

— DE L'ÉCONOMIE

Michel Schmitt, Ingénieur général des Mines, Président de la section "Innovation, Compétitivité, Modernisation", Conseil général de l'Économie

Suppléante : Héléne Le Du, Ingénieure générale des Mines, Conseil général de l'Économie (ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique)

— DU BUDGET

Louis Pasquier de Francieu, Adjoint au sous-directeur de la 3^e sous-direction, Direction du budget

Suppléant : Arnaud Wieber, Chef du bureau de l'Énergie, des Participations, de l'Industrie et de l'Innovation, Bureau 3BEP11, Direction du Budget (ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique)

— 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, Direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature

Suppléant : Jean-François Gaillaud, Chef de bureau, Sous-direction 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 (ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires)

EN QUALITÉ DE PERSONNALITÉS CHOISIES EN RAISON DE LEURS COMPÉTENCES :

Anne Besnier, Vice-Présidente déléguée à l'Enseignement supérieur et à la Recherche, Conseil régional du Centre-Val de Loire

Pierre-Alain Gautier, Directeur Corporate Affairs & Partenariats, Groupe ERAMET

Sylvie Joussaume, Directrice de recherche au CNRS, IPLS/Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement

Marc Chaussidon, Directeur de l'Institut de Physique du Globe de Paris

EN QUALITÉ DE REPRÉSENTANTS DU PERSONNEL DU BRGM :

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

MISSION DE CONTRÔLE ÉCONOMIQUE ET FINANCIER :

Bruno Rossi, Jean-Pascal Codine

Comité d'orientation stratégique de l'innovation

Janvier 2024

Nathalie Collignon (ORANO), Directrice Innovation (Châtillon, France)

Jimmy Klinger (SLB), Directeur Technology Center (Montpellier, France)

Gilles Boulanger (SUEZ), Directeur du CIRSEE (Le Pecq, France)

Olivier Bouc (CCR), Conseiller Prévention Innovation (Paris, France)

Chloé Clair (NamR), Directrice générale (Paris, France)

Olivia Touzé (BPI France), Déléguée Innovation et Responsable crédit (Maisons-Alfort)

Comité scientifique

Avril 2024

Président

Vincent Lagneau, Directeur du centre des Géosciences de Mines (Paris, France)

Philippe Agard, Professeur à Sorbonne Université (Paris, France)

Xavier Arnault De Sartre, Professeur à l'université de Pau et des pays de l'Adour (Pau, France)

Hélène Barucaq, Directrice de recherche à l'INRIA (Pau, France)

Hélène Budzinski, Directrice de recherche CNRS/INEE (UMR EPOC) (Bordeaux, France)

Philippe Charvis, Directeur scientifique de l'IRD (Marseille, France)

Tirza Van Daalen, Directrice du service géologique néerlandais – TNO (Pays-Bas)

Anne Le Friant, Directrice de recherche CNRS/INSU – IPGP (Paris, France)

Stéphane Guillot, Directeur de recherche CNRS/INSU, délégué aux risques auprès de la Direction générale du CNRS (Paris, France)

Michel Jebrak, Professeur émérite à l'université du Québec à Montréal (Canada)

Patrick Landais, Spécialiste des enjeux liés à la transition énergétique et aux usages du sous-sol, ex-CEA (retraité)

Anne Laurent, Professeure à l'université de Montpellier (Montpellier, France)

Louis Londe, Directeur technique et innovation de GEOSTOCK (Paris, France)

Christelle Marlin, Professeure à l'université Paris-Saclay (Paris, France)

Valérie November, Directrice de recherche 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)

Olivier Vidal, Directeur de recherche CNRS/IS Terre (Grenoble, France)

Ralph Watzel, Directeur du service géologique allemand – BGR (Allemagne)

Comité international

Janvier 2024

Président

Jean Lamy, Ancien ambassadeur

Pierre Robion, Chef du pôle Énergie, sous-direction des Secteurs stratégiques, Direction de la Diplomatie économique – ministère de l'Europe et des Affaires étrangères

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)

Yadh 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, Responsable adjoint de la division Eau-Assainissement – AFD

Didier Marquer, Chargé de mission Sciences de la Terre, Géoresources et Géotechnologies à la direction générale de la Recherche et de l'Innovation (ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche)

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

Comité national d'orientation du service public

Janvier 2024

MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DES FINANCES ET DE LA SOUVERAINETÉ INDUSTRIELLE ET NUMÉRIQUE

Par délégalation, la Directrice générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature

AU TITRE DU MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES

Le Directeur de l'Eau et de la Biodiversité

Le Directeur général des Infrastructures, des Transports et des Mobilités

Le Directeur général de l'Énergie et du Climat

Le Directeur général de la Prévention des risques

AU TITRE DU MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

La Directrice générale pour la Recherche et l'Innovation

AU TITRE DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE

Le Sous-Directeur de la Performance environnementale et de la Valorisation des territoires

AU TITRE DU MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE LA SANTÉ ET DES SOLIDARITÉS

Le Directeur général de la Santé

AU TITRE DU MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR ET DES OUTRE-MER

Le Directeur général de la Sécurité civile

et de la Gestion des crises

La Directrice générale des Outre-mer

AU TITRE DU MINISTÈRE DE LA CULTURE

Le Directeur général des Patrimoines et de l'Architecture

LE PRÉSIDENT DU COMITÉ SCIENTIFIQUE DU BRGM

LA PRÉSIDENTE DU BRGM

Comité d'audit

Janvier 2024

Présidente

Marie-Madeleine Mialot-Muller

Jean-Pascal Codine

Jean-Luc Perrin

Louis Pasquier De Francieuv

Marie-Christine Dictor

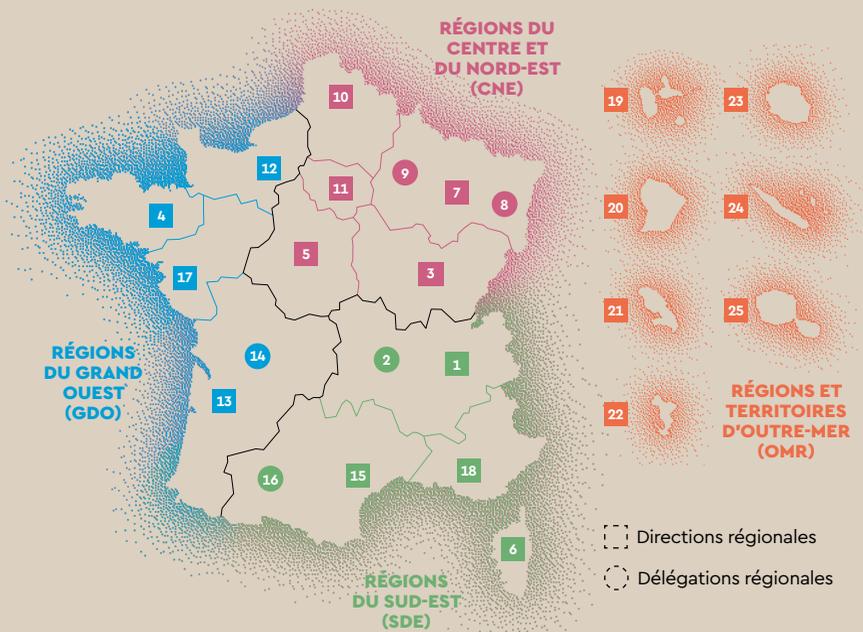
Denis Thiéblemont

Pierre Vassal

Commissaire du Gouvernement

Florence Riou

Réseau territorial



— Directions régionales
- - - Délégations régionales

13
RÉGIONS
EN MÉTROPOLE

5
RÉGIONS EN
OUTRE-MER

5
DÉLÉGATIONS
EN MÉTROPOLE

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
Pierre Pannet
Directeur adjoint
tél. 02 38 64 48 21
p.pannet@brgm.fr



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



Régions et territoires
d'Outre-Mer
Caroline Ricordel
Directrice adjointe
tél. 02 38 64 38 93
c.ricordel@brgm.fr



**AUVERGNE-
RHÔNE-ALPES**
Direction régionale
Site de Lyon
1 Stéphane Buschaert
58 boulevard Niels Bohr
69100 Villeurbanne
tél. 04 72 82 11 50
s.buschaert@brgm.fr



Délégation régionale
Site de Clermont-Ferrand
2 Christian Iasio
12 avenue des Landais
63170 Aubière
tél. 04 73 15 23 00
c.iasio@brgm.fr



**BOURGOGNE-
FRANCHE-COMTÉ**
Direction régionale
Site de Dijon
3 Aurélien Vallet
Parc technologique
27 rue Louis de Broglie
21000 Dijon
tél. 03 80 72 90 40
a.vallet@brgm.fr



BRETAGNE
Direction régionale
Site de Rennes
4 Pauline Drzewiecki
Rennes Atalante Beaulieu
2 rue de Jouanet
35700 Rennes
tél. 02 99 84 26 70
p.drzewiecki@brgm.fr



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



CORSE
Direction régionale
Site de Bastia
6 Baptiste Vignerot
Immeuble Agostini
Zone Industrielle de Furiani
20600 Bastia
tél. 04 95 58 04 33
b.vignerot@brgm.fr



GRAND EST

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



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



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

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

Direction régionale
Site de Paris
Benjamin Lopez
Tour Mirabeau
39-43 quai André Citroën
75739 Paris Cedex 15
tél. 01 40 58 89 17
b.lopez@brgm.fr



NORMANDIE

Direction régionale
Site de Rouen
Manuel Parizot
7 rue Andreï Sakharov
76130 Mont-Saint-Aignan
tél. 02 35 60 12 00
m.parizot@brgm.fr



NOUVELLE-AQUITAINE

Direction régionale
Site de Bordeaux
Cécile Le Gall
Parc Technologique Europarc
24 avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac
tél. 05 57 26 52 70
c.legall@brgm.fr



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



OCCITANIE

Direction régionale
Site de Montpellier
Anthony Rey
1039 rue de Pinville
34000 Montpellier
tél. 04 67 15 79 80
a.rey@brgm.fr



Délégation régionale
Site de Toulouse
Frédéric Tronel
Parc technologique du Canal
3 rue Marie Curie
Bâtiment ARUBA – BP 49
31527 Ramonville-Saint-Agne
tél. 05 62 24 14 50
f.tronel@brgm.fr



PAYS DE LA LOIRE

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

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



GUADELOUPE

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

Direction régionale
Floriane Deneuville-Mayer
Domaine de Suzini
Route de Montabo
B.P. 552
97333 Cayenne Cedex 2
tél. 05 94 30 06 24
f.deneuville-mayer@brgm.fr



MARTINIQUE

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

Direction régionale
Ludivine Sadeski
N° 2 Les Terrasses Maasakini
Kaweni
97600 Mamoudzou
tél. 02 69 61 28 13
l.sadeski@brgm.fr



LA RÉUNION

Direction régionale
Ingrid Girardeau
5 rue Sainte-Anne – CS 51016
97404 Saint-Denis Cedex
tél. 02 62 21 22 14
i.girardeau@brgm.fr



ANTENNES

NOUVELLE-CALÉDONIE

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: Caroline Ricordel
c.ricordel@brgm.fr



DÉPARTEMENT PRÉVENTION SÉCURITÉ MINÈRE

UTAM (Unité territoriale Après-mine)



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



UTAM Centre Ouest
Boris Chevrier
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

Un résultat net 2023 une nouvelle fois bénéficiaire

L'année 2023 est la première année du nouveau Contrat d'objectifs, de moyens et de performance (COMP) signé en mars 2023. Elle est marquée par le démarrage des PEPR, de l'OFREMI et d'une manière générale par une forte croissance de l'activité au cœur des enjeux sociétaux. Malgré un mouvement social toujours en cours pour un rattrapage salarial, l'engagement des salariés est visible dans l'augmentation de la production et la hausse du taux d'activité.

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 », ainsi que pour deux projets spécifiques (Trackdéchets, RNDTS). Enfin, il bénéficie d'une SCSP sur le programme 113 pour le financement du réseau piézométrique.

Au niveau du groupe BRGM

Le résultat net consolidé revenant au groupe s'établit à +0,7 M€ en 2023 (contre +2,6 M€ en 2022). La contribution des entités à la formation de ce résultat net est la suivante :

- Le BRGM EPIC contribue à hauteur de +1,4 M€, ce qui correspond à son résultat net social de 1,8 M€, corrigé des écritures ayant trait à ses filiales (principalement, la neutralisation des dividendes reçus de SAGEOS pour 2 M€) ;
- BRGM SA contribue à hauteur de -1,9 M€ ;
- SAGEOS contribue pour 0,5 M€ au résultat du groupe en 2023 ce qui correspond à son résultat social retraité des dividendes reçus de ses filiales et des provisions intragroupes ;
- CFG et IRIS INSTRUMENTS contribuent respectivement à hauteur de +0,1 M€ et +0,8 M€. SOLTRACING contribue pour -0,1 M€.

+ 1,5 M€

Résultat de fonctionnement
du BRGM EPIC en 2023

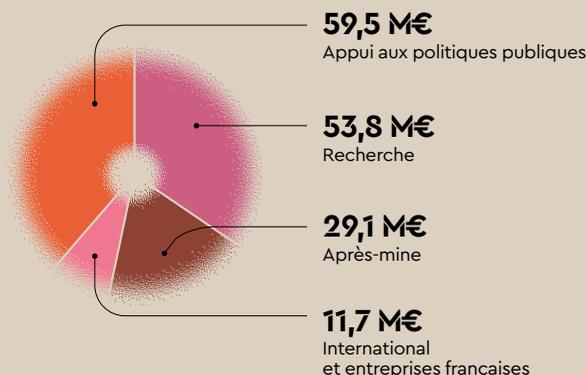
158,3 M€

Produits de
fonctionnement 2023

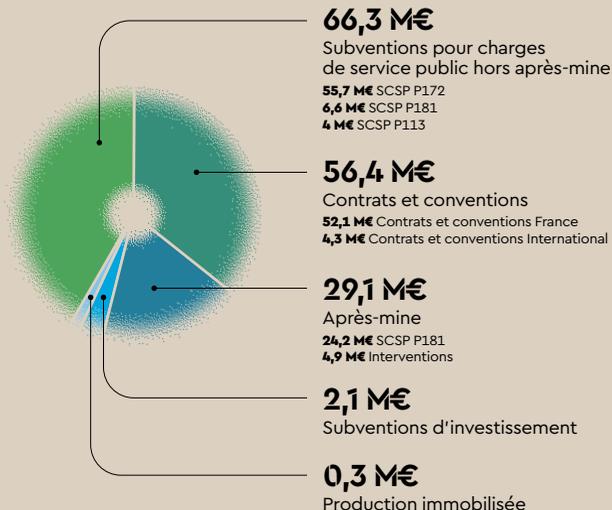
156,8 M€

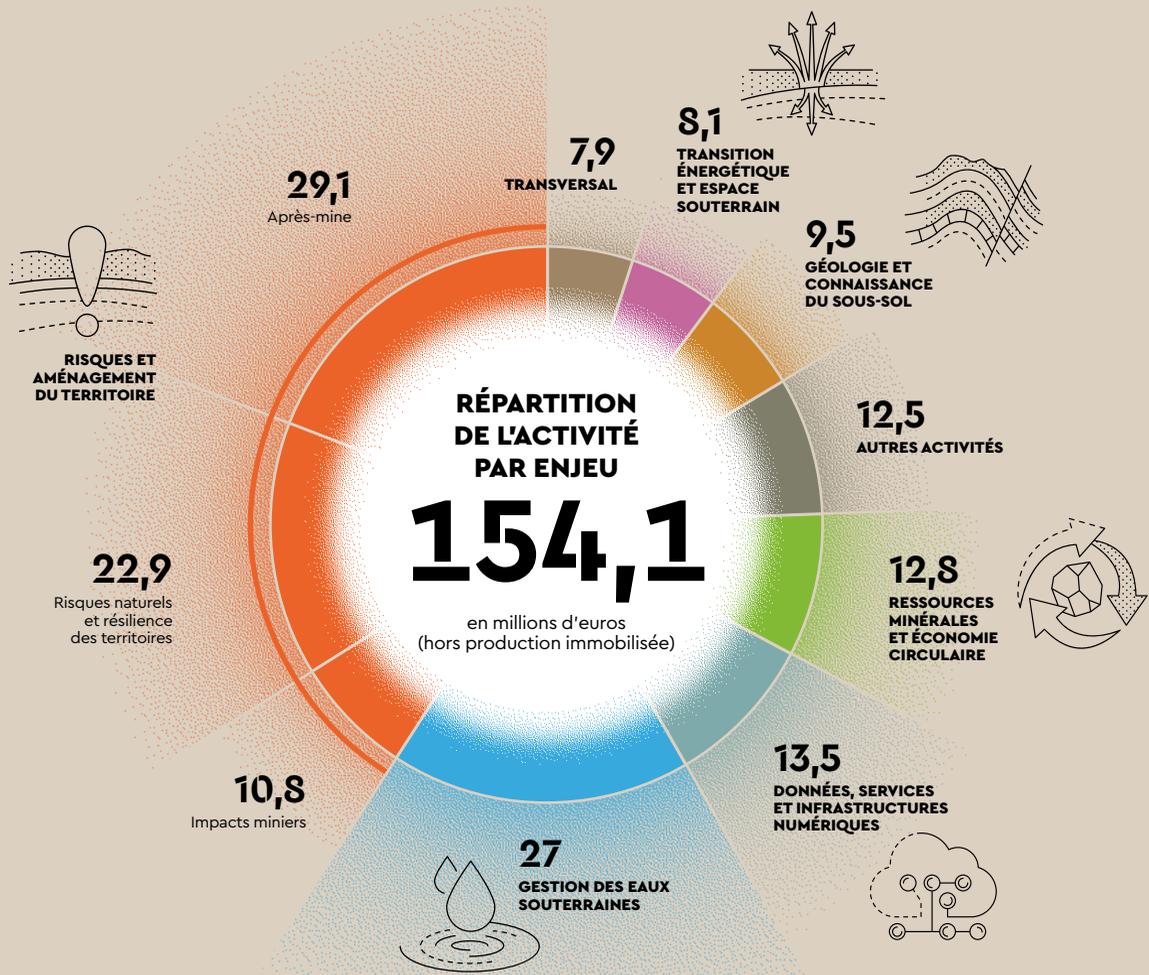
Charges de
fonctionnement 2023

RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ PAR MISSION



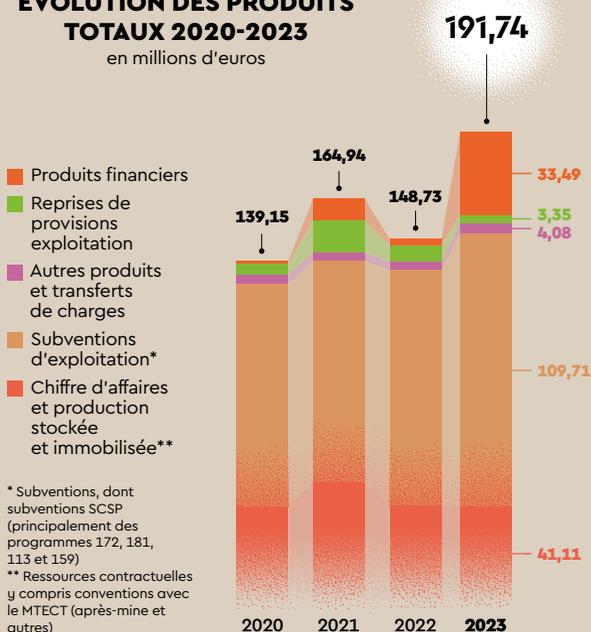
RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ PAR TYPE DE FINANCEMENT





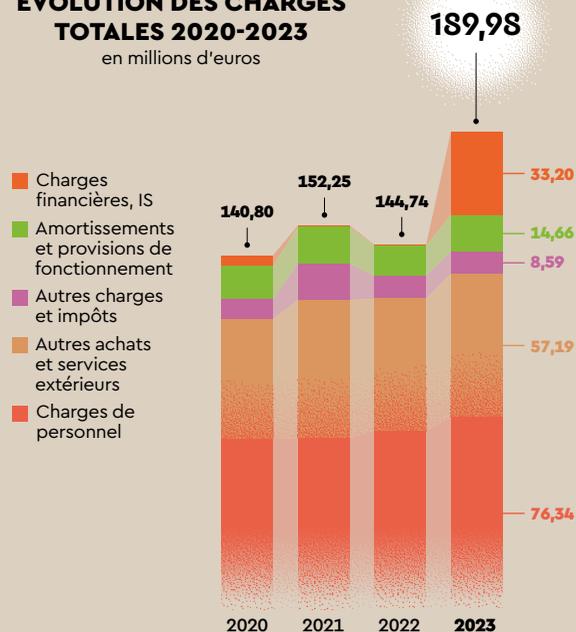
ÉVOLUTION DES PRODUITS TOTAUX 2020-2023

en millions d'euros



ÉVOLUTION DES CHARGES TOTALES 2020-2023

en millions d'euros



L'exercice 2023 est marqué par diverses opérations de restructuration du groupe.

Côté pôle minier, la société NICRON, détenue à 100 % par la société minière de CHESSY (SM CHESSY), elle-même filiale à 100 % de BRGM SA, a été dissoute. La SM CHESSY a ensuite été recapitalisée. Ces opérations ont constitué une première étape pour une reprise d'activité en 2024 de la SM CHESSY dans le cadre du programme de mise à jour de l'Inventaire national des ressources minérales (IRM) annoncé par le président de la République en septembre 2023 et visant à relancer les investissements miniers sur le territoire.

Côté géothermie, la recherche d'un nouveau partenaire industriel et financier pour CFG, susceptible de lui apporter les moyens nécessaires à son développement, s'est poursuivie en 2023 et devrait être finalisée début 2024.

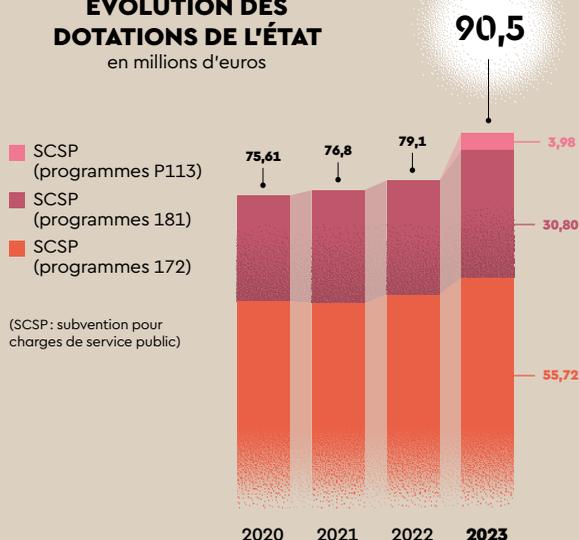
Au niveau de BRGM EPIC

Le BRGM affiche pour son exercice 2023 un bénéfice net de 1,8 M€ contre 4 M€ de résultat net constaté en 2022. Le résultat de fonctionnement est à nouveau positif, s'établissant à hauteur de 1,5 M€ ; pour mémoire, le résultat de fonctionnement s'élevait à 1,4 M€ en 2022. Le résultat financier s'élève à 1,1 M€, en diminution par rapport au résultat financier 2022 (2,5 M€). Tous ces éléments conduisent au versement d'un intéressement (2 M€) et permettront un abondement au plan d'épargne d'entreprise en 2024.

Les ressources liées à l'activité courante s'élèvent à 152 M€, en augmentation de 10,8 % par rapport à 2022. S'élevant au total à 125 M€, les ressources hors après-mine progressent de 13 M€ par rapport à 2022 (+ 11,6 %). Les ressources après-mine s'établissent quant à elles à

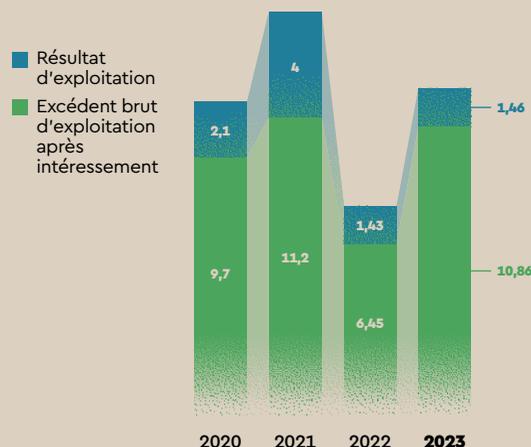
ÉVOLUTION DES DOTATIONS DE L'ÉTAT

en millions d'euros



ÉVOLUTION DU RÉSULTAT D'EXPLOITATION

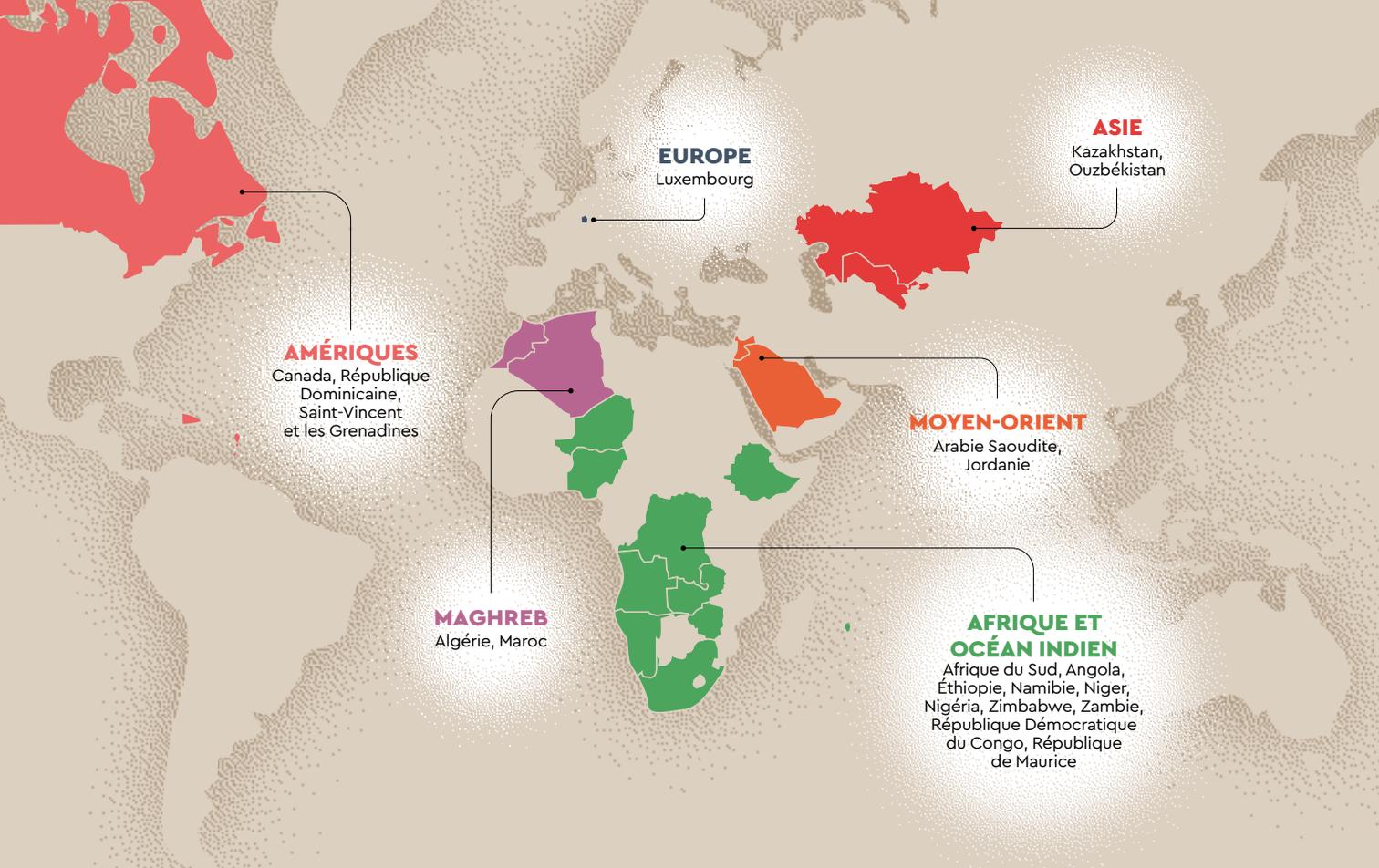
en millions d'euros



ÉVOLUTION DES RESSOURCES CONTRACTUELLES DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES

en millions d'euros HT

	2021	2022	2023
Contrats et conventions + production immobilisée			
Union Européenne et Feder	4,618	6,517	6,678
ANR	2,410	1,854	2,724
Agences hors ANR	8,900	7,549	6,057
Collectivités	8,455	7,253	8,557
Ministères, Services de l'État	16,065	20,873	20,210
Entreprises	1,127	0,717	2,600
Sous-total contrats et conventions recherche + APP	41,809	44,763	46,826



RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ INTERNATIONALE DU BRGM PAR PAYS EN 2023

29,1M€, soit une augmentation de 2,3M€ par rapport à 2022 (+8,7%).

Hors après-mine, le niveau de SCSP progresse par rapport à 2022 (+10,5M€) du fait notamment de la modification du mode de financement du réseau piézométrique (financé désormais par de la SCSP sur P113) et des projets DGPR Trackdéchets et RNDTS (financés par de la SCSP sur P181) ; le BRGM a par ailleurs bénéficié d'une dotation exceptionnelle non reconductible du ministère de la Recherche (+3,4M€ de P172) au titre de l'augmentation du coût de l'énergie et en compensation de l'augmentation de sa masse salariale. Le niveau des contrats et conventions (56,4M€) est, quant à lui, en progression de 4% par rapport à 2022.

Le niveau des produits de contrats relatifs à la mission d'appui aux politiques publiques accuse un léger recul par rapport à 2022 en s'établissant à 29,7M€ contre 30,7M€ en 2022, année record. Cette diminution est artificielle compte tenu du changement de mode de financement du réseau piézométrique. Hors effet réseau piézométrique, la production sur contrat APP s'établirait pour 2023 à 33,5M€, ce qui représenterait un nouveau record historique. La production sur le périmètre de la recherche publique financée sur contrats et conventions (15,3M€) a également progressé

de 2,5M€ par rapport à 2022. Cela tient essentiellement à la forte hausse de la production sur les contrats européens. La production à l'international reste stable par rapport à 2022 en s'établissant à 4,3M€ (contre 3,9M€ en 2022). L'activité commerciale France est en légère croissance (5,4M€ en 2023 contre 5,0M€ en 2022).

L'activité après-mine connaît une augmentation de son activité travaux dont la production s'établit au final à 4,8M€ (+1,4M€ par rapport à 2022). L'activité de surveillance a bénéficié d'une SCSP complémentaire de 0,7M€ afin de couvrir en partie le surcoût énergie des stations de pompage.

Les charges de gestion courante (hors provisions et reprises) sont en augmentation de 10M€ par rapport à 2022 (+7,2%) pour s'établir à 149,5M€. Hors éléments « exceptionnels » (admission en non-valeur pour 1M€ en 2022), les charges externes structurelles progressent de 2,2M€ par rapport à 2022. Les charges de personnel augmentent également de 5,3M€ par rapport à 2022, avec un taux de RMPP en hausse à 5%.

Le résultat financier s'élève à 1,1M€ en 2023, sous l'effet essentiellement de la remontée de dividendes de SAGEOS (2M€). Le résultat du groupe donne lieu à un impôt sur les sociétés de 0,8M€ en 2023. ●

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 50 % du capital (Beicip-Franlab Groupe IFPEN en détenant 50 % depuis mars 2024) 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 %), dans la gestion des terres

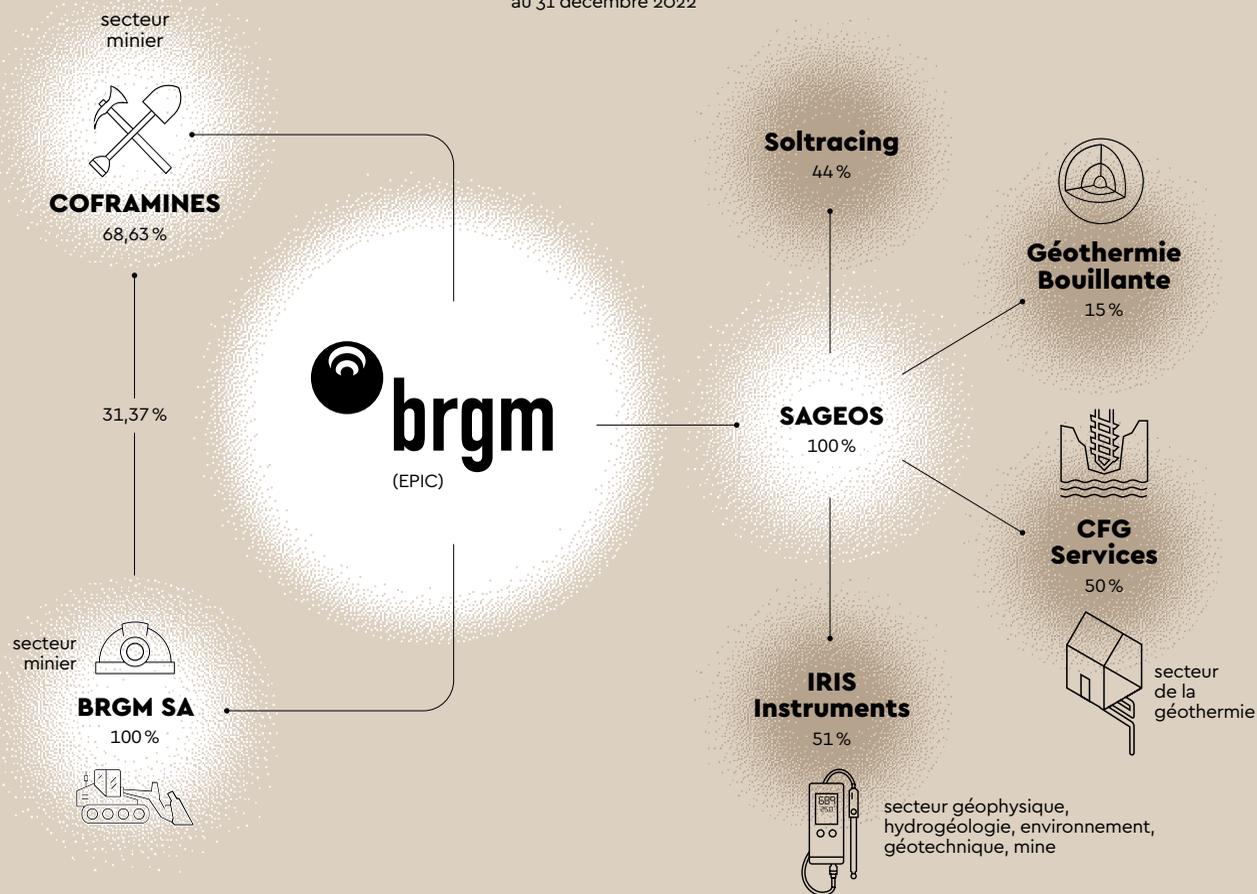
excavées avec Soltracing détenue à 44 % (HESUS en possédant 55 %).

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 2022





2023 : Structuration et investissements

2023 restera comme une année fondatrice pour la géothermie, notamment au travers du plan géothermie, présenté en février 2023 « *un plan d'action pour accélérer* » dont un des objectifs sera de faire croître de 40 % les projets de géothermie profonde sur le territoire.

Au travers de l'impulsion politique, la géothermie se positionne comme une alternative crédible afin de faire face aux grands enjeux de la transition énergétique.

Fort de son positionnement de leader sur ses marchés, CFG a certes bénéficié d'une conjoncture favorable mais a su également se montrer opportuniste et performant sur des nouvelles approches et ainsi asseoir sa notoriété auprès de clients historiques.

Afin de faire face à ses ambitions déclinées autour de l'axe stratégique « *Ambitions 2030* », les priorités ont été le recrutement et particulièrement le renforcement des forces de production, mais également le développement de nouveaux segments de marché.

Au cours de l'année 2023, ce sont six collaborateurs qui ont rejoint l'effectif, outre leur recrutement, leur intégration est en cours afin qu'ils soient pleinement opérationnels pour l'exercice 2024.

CFG s'affiche désormais sur le marché de la géothermie proposée aux sites industriels afin de contribuer à leur transition énergétique dans un objectif annoncé de neutralité carbone. Le positionnement sur ces marchés nécessite une approche commerciale spécifique et une agilité et 2023 a vu certaines transformations de nos modes de fonctionnement.

Ainsi renforcée et fortement impliquée dans les travaux de la filière, CFG a pris part aux études préalables contribuant à la minimisation des risques sur la ressource dans les zones où celle-ci est moins connue notamment dans l'ouest francilien, dans les Hauts-de-France et dans le couloir Rhodanien.

L'activité de maîtrise d'œuvre sous-sol au Dogger en Île-de-France a été soutenue avec la réalisation des forages du doublet de Saint Denis et d'un premier doublet à Pantin – Les Lilas. Des études préalables réalisées dans le cadre de missions de maîtrise d'œuvre à Villetaneuse, à Roissy-Charles de Gaulle (Aéroport de Paris) et à Dugny-Le-Bourget se concrétiseront par la réalisation de forages programmés en 2024.

Au titre des innovations, 2023 restera un exercice majeur avec la réalisation du premier doublet tout composite à Champigny-sur-Marne et par la mise au point d'une approche novatrice des ressources en substances connexes dans les saumures géothermales. Cette approche a permis à CFG, dans le cadre d'un partenariat avec Beicip-Franlab, de



ÉRIC BERTET
Président de CFG

Directeur exécutif :
Éric Lasne

Chiffre d'affaires :
5,300 M€

Participation SAGEOS :
50 %

Participation Beicip-Franlab :
50 %

Effectif :
25 salariés

proposer aux industriels des solutions techniques d'optimisation de leur stratégie de mobilisation des ressources en lithium sur le territoire national.

Après deux années consacrées à la sécurisation de permis exclusifs de recherches dans les zones insulaires (La Réunion, Mayotte, Guadeloupe, Martinique) pour la production d'électricité, 2023 a été une année de transition et d'accompagnement des maîtres d'ouvrage dans la préparation des compléments d'exploration et de programmation des futurs forages.

On notera, également en 2023, la finalisation de la supervision du programme de trois nouveaux forages sur la concession de Bouillante, tous couronnés de succès.

Au cœur d'un exercice que l'on peut qualifier de classique au titre des activités de maintenance et de suivi d'exploitation, CFG affiche la volonté

de redynamiser son activité dans le domaine de l'expertise en microbiologie en lien avec la corrosion. Deux axes sont d'ores et déjà identifiés avec la recherche de solutions novatrices de quantification de bactéries en milieu anaérobie et la mise au point de services améliorés pour la recherche des fuites sur les canalisations enterrées.

Après un exercice 2022, excellent en termes de résultats et boosté par de nombreux éléments exceptionnels, 2023 restera comme une année d'investissements et de mise en ordre de marche afin d'apporter les meilleures réponses aux nombreuses sollicitations générées par un marché dynamique et en croissance. ●

Rig de forage, Champigny-sur-Marne.
© OCÉANE DURIER





2023, l'année d'un succès record

Malgré un contexte économique et géopolitique complexe, l'année 2023 a été marquée à IRIS Instruments par une activité intense avec le lancement de nouveaux produits et de nombreuses sollicitations commerciales et exploratoires.

Les résultats très positifs de 2023 confortent dans le choix de la stratégie long terme de l'entreprise qui a incité depuis quelques années à une augmentation significative des stocks de composants électroniques et autres matières premières. Cette initiative vise à sécuriser les chaînes d'approvisionnement et à mieux répondre aux besoins des clients. IRIS Instruments est plus que jamais déterminé à assurer la durabilité et la réparabilité sur le long terme de ses produits. Engagé dans une démarche de Responsabilité sociale des entreprises (RSE), ces décisions, pourtant lourdes d'implications financières, placent IRIS Instruments dans son époque.

Dopés par une activité de recherche et de développement en électronique internalisée, les produits d'IRIS mis sur le marché sont le fruit d'un savoir-faire capitalisé au fil des dernières décennies. Les techniciens et ingénieurs aux compétences variées et complémentaires sont des atouts exceptionnels qui offrent à IRIS une agilité stratégique unique et une forte capacité à innover.

La diffusion des équipements d'IRIS dans plus de cinquante pays répartis sur les cinq continents a été possible grâce à un réseau de correspondants dévoués. Les représentants locaux contribuant pour moitié aux ventes mondiales, sont formés à l'utilisation des nouveaux produits, et certains d'entre eux également sont formés à un premier niveau de réparation.



CATHERINE TRUFFERT

Présidente d'IRIS Instruments

Chiffre d'affaires : **7,986 M€**

Participation SAGEOS : **51%**

Participation OYO : **49%**

Effectif : **27 salariés dont un apprenti**

Les marchés de l'exploration minérale, de l'environnement et de la recherche en eau souterraine ont fait l'objet d'attention à parts égales.

Dans le domaine de l'exploration minière, l'année 2023 est marquée par le lancement du TIP12, un émetteur unique, de forte puissance (12 kilowatts), régulé en courant et en tension. Cet instrument fait suite à son prédécesseur, le TIP6 (6 kilowatts), lui aussi conjugable aux enregistreurs de résistivité électrique et de polarisation provoquée dédiés aux investigations atteignant le kilomètre de profondeur – ELREC et FULLWAVERS. Malgré la réticence des marchés à investir dans le secteur minier, l'exploration minière a représenté un tiers des ventes d'IRIS, avec près d'un quart attribué aux nouveaux émetteurs TIP6 et TIP12.

Les résistivimètres SYSCAL continuent de dominer les marchés interconnectés de la recherche en eau et de l'environnement, avec l'ajout de la résonance magnétique protonique pour la recherche d'eau souterraine.

Le succès d'IRIS Instruments est attribuable à ses équipes et partenaires qui travaillent quotidiennement pour relever les défis des clients. En 2023, le rythme des formations dispensées par les géophysiciens d'IRIS sur le terrain chez ses clients a dépassé celui d'avant la crise COVID.

Face à l'ampleur des défis environnementaux et sociétaux, IRIS Instruments poursuit sans relâche ses activités de recherche et d'innovation pour répondre aux besoins émergents en imagerie et en suivi temporel du sous-sol.

En 2023, les projets de recherche et développement, tels que MEGAMU associant l'Institut des deux infinis de Lyon, l'IPGP, GEG Experts, l'université de Genève et Géosciences Rennes, renforcent la présence d'IRIS Instruments sur le marché de l'exploration géothermique.

Démontrant son engagement envers la qualité et l'amélioration continue, IRIS est fier d'annoncer le renouvellement de sa certification ISO 9001 version 2015 en 2023. ●



Formation sur un SYSCAL PRO dispensée en Angola pour le compte du client GEOLANDER.

© IRIS INSTRUMENTS



**Service de la Communication,
de la Médiation scientifique
et des Éditions du BRGM**

3 avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2

Crédits

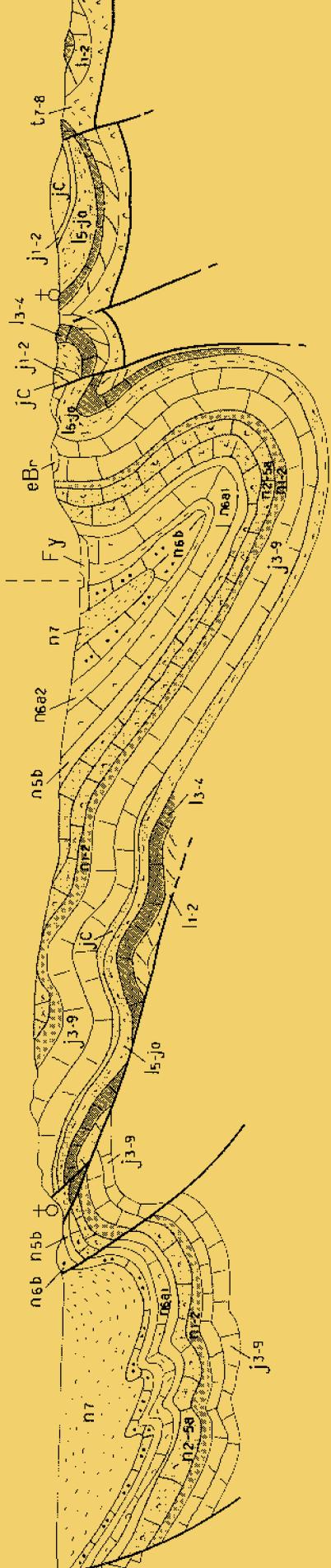
Sauf mention contraire, les photographies sont issues de la banque d'images BRGM. Droits de reproduction des textes et illustrations réservés.
ISBN 978-2-7159-2877-0

**Conception
& réalisation graphique**

EFIL / 02 47 47 03 20 / www.efil.fr

Impression

Imprimerie Vincent (Tours), 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-Guillemain - BP 36009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : (33) 2 38 64 34 34

www.brgm.fr

