ACTIVITÉS D'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES

RAPPORT 2016

INSTITUT CARNOT brgm

Géosciences pour une Terre durable
brgm

L'ACTIVITÉ D'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES 2016 EN QUELQUES CHIFFRES

45,36 M€

PRODUCTION TOTALE DE L'ACTIVITÉ D'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES

Subventions pour charges de Service Public

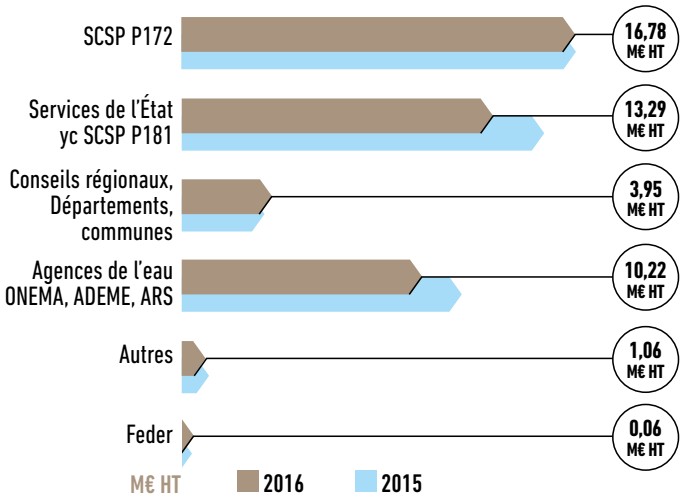
20,72 M€

+

24,64 M€

Autres ressources

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION 2015-2016



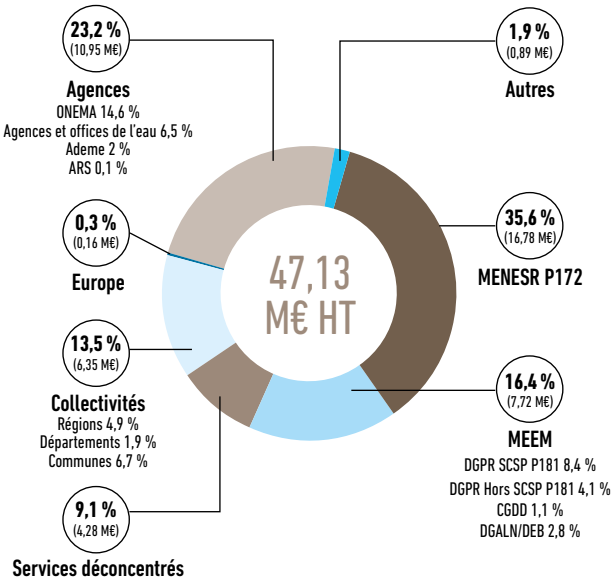
Les subventions pour charges de service public (SCSP) des programmes 181 relevant des actions 1 "Prévention des risques technologiques et des pollutions" et 10 "Prévention des risques naturels et hydrauliques", et 172 relevant de l'action 12 "Diffusion, valorisation et transfert des connaissances et des technologies" de la LOLF produites en 2016 s'élèvent à 20,72 M€ et représentent 45,7 % de l'activité totale de l'appui aux politiques publiques (hors après-mine). Les autres ressources produites, au cours de la même année, atteignent 24,64 M€ HT, soit 54,3 %.

L'activité d'appui aux politiques publiques représente une production totale de 45,36 M€ HT, en légère baisse par rapport à 2015 : 48,9 M€ HT, principalement significative sur les axes "Ressources minérales primaires et secondaires" et "Qualité et usages des milieux".

La répartition est la suivante :

- SCSP P172 : 16,78 M€ HT
- SCSP P181 : 3,94 M€ HT
- Ministères hors SCSP : 9,35 M€ HT
- Autres partenariats : 15,29 M€ HT

FINANCEMENTS 2016



Les ressources financières globales des actions d'appui aux politiques publiques, acquises en 2016, atteignent 47,13 M€ HT. Ces ressources 2016 sont en légère diminution par rapport à 2015 (48,94 M€ HT).
Les financements liés aux agences d'objectifs (ONEMA, ADEME, ARS, agences et offices de l'eau) sont en légère croissance par rapport à 2015 (10,63 M€ HT) avec 10,95 M€ HT. Les signatures avec les collectivités sont en augmentation significative (+ 1,99 M €) avec 6,35 M€ HT.

SOMMAIRE

04 ENTRETIEN AVEC PHILIPPE DUTARTRE

06 MISSIONS ET PROGRAMMES SCIENTIFIQUES

08 RÉFÉRENTIELS GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES

24 OBSERVATOIRES

42 GÉOTHERMIE ET USAGES ÉNERGÉTIQUES DU SOUS-SOL

50 RESSOURCES EN EAU

64 RESSOURCES MINÉRALES

72 RISQUES ET IMPACTS

102 QUALITÉ ET USAGE DES MILIEUX

114 ÉCONOMIE

124 SYSTÈMES D'INFORMATION ET CALCUL SCIENTIFIQUE

138 LABORATOIRES ET PLATEFORMES

152 LE BRGM EN RÉGIONS

ENTRETIEN AVEC PHILIPPE DUTARTRE

Directeur adjoint de la direction du Développement, en charge de l'appui aux politiques publiques.

QUELS ONT ÉTÉ LES POINTS FORTS DE L'ACTIVITÉ D'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES EN 2016 ?

L'activité en appui aux politiques publiques du BRGM au cours de l'année 2016 s'est inscrite dans la logique de l'Accord de Paris sur le climat. Ainsi, le BRGM a renforcé sa mobilisation sur les objectifs prioritaires que sont le changement climatique et la transition énergétique de manière à conforter, en ces domaines, les politiques de plus en plus affirmées de l'État. Il multiplie, aussi bien sur les territoires métropolitains qu'ultramarins, la mise en œuvre d'approches permettant d'évaluer les impacts du changement climatique, par exemple sur l'évolution du trait de côte, la vulnérabilité des aquifères côtiers... Le développement d'outils de gestion et de suivi s'accentue pour répondre à une demande croissante d'aide et de conseil pour l'optimisation de la ressource en eaux souterraines exprimée par les gestionnaires de plus en plus sensibilisés à des projections sur le moyen et long terme. Le soutien aux collectivités dans la mise en œuvre de leurs politiques d'énergie durable s'amplifie par de nombreuses études de faisabilité pour l'utilisation de "techniques vertes" de rafraîchissement ou de production de chaleur destinées aux espaces industriels ou résidentiels.

PLUS PRÉCISÉMENT ?

En particulier, le BRGM a porté ses efforts sur le développement de "services climatiques pour l'adaptation". Ces derniers s'appuient d'une part sur la mise en place de modèles permettant d'appréhender aussi bien les impacts côtiers qu'hydrogéologiques et d'autre part sur la mise en place de portails de données facilitant le partage auprès des acteurs scientifiques

Submersion marine à Wiremeux lors de la tempête de février 1990.
© J. Célié

et la communication vers un large public afin d'améliorer la prise de conscience et renforcer ainsi la résilience de la société. Par ailleurs, le BRGM accompagne les politiques menées dans le cadre de la croissance verte en identifiant les bonnes pratiques de conduite de projet pour optimiser leur intégration environnementale et sociétale.

LES NOUVEAUX ENJEUX SOCIÉTAUX SONT-ILS DÉTERMINANTS DANS L'ÉVOLUTION DE VOTRE STRATÉGIE D'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES ?

Ces besoins sociétaux constituent le socle des orientations stratégiques du BRGM pour l'appui aux politiques publiques des trois prochaines années. Ces besoins convergent vers une nécessité de gestion durable des territoires et de leurs ressources à laquelle le BRGM sait répondre en focalisant notamment son attention sur la gestion des conséquences du passé industriel et la valorisation des ressources minérales primaires et secondaires dans une logique croissante d'économie circulaire. Le BRGM s'attache en outre, sur les territoires concernés, à conserver et améliorer la connaissance et le savoir-faire minier en France. Parallèlement, il s'inscrit totalement dans les recommandations de la conférence des Nations Unies sur la réduction des risques de catastrophe qui s'est tenue à Sendai en 2015. Le BRGM participe aux besoins de partage de l'information environnementale par sa démarche volontariste d'ouverture des données publiques couvrant le territoire national et la mise en place progressive de services numériques thématiques accessibles au plus grand nombre. Ces mêmes enjeux servent de base à la réflexion en cours pour la rédaction du futur contrat d'objectifs et de performance liant le BRGM et l'État pour les cinq prochaines années.

ACTIONS CLÉS

—

CONTRIBUER À L'OPTIMISATION DES RESSOURCES DANS UNE LOGIQUE D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

—

S'INSCRIRE PARMI LES ACTEURS CLÉS DE L'ATTÉNUATION DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

—

RENDRE PRIORITAIRE LA RÉPONSE AUX BESOINS SOCIÉTAUX ET CONSEILLER POUR ÉCLAIRER LA DÉCISION PUBLIQUE

EN 2015, LORS DE L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE L'ONU, 193 PAYS, DONT LA FRANCE, ONT ADOPTÉ 17 OBJECTIFS DE DÉVELOPPEMENT DURABLE (ODD). COMMENT LA STRATÉGIE DU BRGM EN TERMES D'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES S'INSCRIT-ELLE DANS LEUR RÉALISATION ?

Ces 17 objectifs constituent le cœur d'un vaste programme mondial visant l'horizon 2030. Ils couvrent l'intégralité des enjeux du développement durable tels que le climat, la biodiversité, l'énergie, l'eau mais aussi la pauvreté, l'égalité des genres, la prospérité économique ou encore la paix, l'agriculture, l'éducation... Comme nous venons de le voir, l'action du BRGM répond naturellement aux objectifs qui s'adressent plus particulièrement à l'eau, l'énergie, les villes durables, le changement climatique ou la biodiversité. Les travaux du BRGM sur la quantification et le suivi de la ressource en eau souterraine ainsi que sur l'évaluation de la qualité de ces eaux apportent ainsi des éléments de réponse à l'objectif 6 (Eau propre et assainissement). Ceux liés au développement de filières d'énergies renouvelables ou à l'amélioration de nouvelles technologies pour accroître l'efficacité énergétique contribuent à l'atteinte de l'objectif 7 (Énergie propre et d'un coût abordable).

En France, le Ministère de la Transition écologique et solidaire a souhaité inscrire l'agenda 2030 dans une approche de concertation avec la société civile. Cela amènera le BRGM à développer plus avant les relations qu'il noue avec elle depuis de nombreuses années en particulier au travers de l'action de ses directions régionales, en parfaite cohérence avec sa volonté d'ouverture et de diffusion de son savoir-faire et de ses données.

Les déchets électroniques et électriques : un gisement de métaux et de terres rares.
© BRGM

LES MISSIONS

Les missions d'appui aux politiques publiques regroupent l'ensemble des activités réalisées au profit de l'État, d'établissements publics et de collectivités locales.

Selon les termes du contrat État-BRGM 2013-2017, *"ces missions ont pour objectif de mobiliser et diffuser les connaissances scientifiques et de développer l'expertise en appui aux politiques publiques"*.
Elles concernent notamment la mise au point d'outils et de méthodes, la collecte, le traitement et la mise à disposition de l'information. L'activité d'appui aux politiques publiques du BRGM est pilotée par le Comité National d'Orientation du Service Public (CNO-SP). Cette instance consultative placée auprès du Conseil d'administration réunit, sous la présidence du directeur général de l'aménagement, du logement et de la nature du MTES (Ministère de la Transition écologique et solidaire) ou son représentant, les directions d'administration centrales concernées. Le Comité a notamment pour mission de proposer chaque année au Conseil d'administration, dans le respect du contrat d'objectifs signé entre l'État et l'établissement, les orientations des actions de service public confiées au BRGM dans le cadre de ses missions et de se prononcer sur leurs sources de financement.

Les activités d'appui aux politiques publiques du BRGM sont financées par :
- une subvention pour charges de service public du ministère chargé de la Recherche (programme 172) ;
- des subventions attribuées sur programme par les autres ministères ;
- des conventions de partenariat avec, en particulier, l'Agence française pour la biodiversité (AFB, anciennement ONEMA), les Agences de l'eau et les Offices de l'eau dans les DROM, l'ADEME, les collectivités territoriales et l'Union européenne (FEDER).

MOBILISER ET DIFFUSER LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

—

DÉVELOPPER L'EXPERTISE EN APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES

Référentiel géologique de la France.
© BRGM

Ces orientations sont transmises aux Comités Régionaux de Programmation. Présents dans chaque région, ils sont présidés par le préfet de Région et réunissent les représentants des administrations concernées, des agences d'objectifs et des collectivités locales. Ils ont pour objet de faire remonter au niveau national les attentes et les besoins exprimés régionalement, et de suivre la mise en œuvre au niveau régional des orientations définies par le CNO-SP. Le Groupe National de Programmation (GNP) arrête la programmation annuelle de ces activités. Le BRGM présente au CNO-SP un tableau de bord de suivi annuel de l'activité d'appui aux politiques publiques, comportant des indicateurs spécifiques.

Depuis la réforme territoriale, l'activité est localisée dans 18 implantations régionales (métropole et DROM) pilotées par la Direction des Actions Territoriales. Elle s'exerce par ailleurs dans les directions opérationnelles thématiques du Centre scientifique et technique d'Orléans (Direction Eau Environnement et Écotechnologies et son implantation à Montpellier (Eaux souterraines), Direction des Géoressources, Direction Risques et Prévention, Direction des Laboratoires, Direction des Infrastructures et Services Numériques). Le thème de l'après-mine est développé à partir des pôles GEODERIS de Nancy, d'Alès et de Caen.

LES AXES ET PROGRAMMES SCIENTIFIQUES

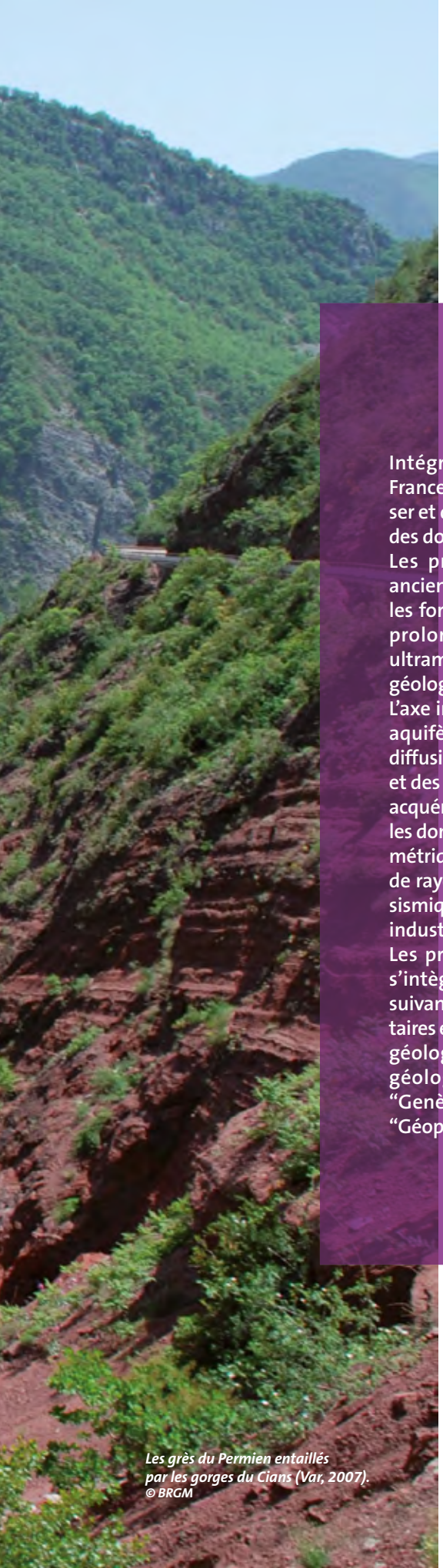
L'évolution la plus profonde de la réforme scientifique du BRGM opérée en 2012 réside dans l'avènement des programmes scientifiques constitués de projets de recherche, d'appui aux politiques publiques et de services. Ainsi, le continuum amont-aval des différents types d'activité de l'entreprise est désormais assuré. L'ambition est d'anticiper, au travers de projets de recherche, les besoins des politiques publiques et de donner encore plus de robustesse aux réponses apportées grâce aux résultats de la recherche.

Les 42 programmes structurant l'activité scientifique du BRGM sont désormais regroupés en axes programmatiques qui traduisent la stratégie scientifique de l'établissement :

Base de données géoscientifiques et sites web de diffusion de données du BRGM.
© BRGM

- RÉFÉRENTIELS GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES
- OBSERVATOIRES
- GÉOTHERMIE ET USAGES ÉNERGÉTIQUES DU SOUS-SOL
- RESSOURCES EN EAU
- RESSOURCES MINÉRALES
- RISQUES ET IMPACTS
- QUALITÉ ET USAGE DES MILIEUX
- ÉCONOMIE
- SYSTÈMES D'INFORMATION & CALCUL SCIENTIFIQUE
- LABORATOIRES ET PLATEFORMES

RÉFÉRENTIELS GÉOLOGIQUES ET HYDROGÉOLOGIQUES



Les grès du Permien entaillés par les gorges du Cians (Var, 2007). © BRGM

Intégré dans le Référentiel Géologique de la France (RGF), cet axe vise à développer, capitaliser et diffuser la connaissance à diverses échelles des domaines géologiques du territoire national. Les programmes concernent les orogènes, anciens ou actuels, les bassins sédimentaires et les formations superficielles du régolithe, leurs prolongements submergés et les domaines ultramarins, en établissant des visions d'objets géologiques en deux et trois dimensions.

L'axe intègre également la connaissance 3D des aquifères au travers de la constitution et de la diffusion du référentiel hydrogéologique national et des synthèses hydrogéologiques. Il vise enfin à acquérir, interpréter, gérer et mettre à disposition les données géophysiques d'infrastructure, gravimétriques, magnétiques, électro-magnétiques et de rayonnement gamma, ainsi que les données sismiques acquises dans le cadre de l'exploration industrielle dans les bassins.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes scientifiques suivants : "Géodynamique des bassins sédimentaires et des plateaux continentaux", "Référentiels géologiques régionaux", "Référentiels hydrogéologiques des bassins hydrographiques", "Genèse et caractéristiques des régolithes" et "Géophysique pour l'infrastructure géologique".

10
GÉODYNAMIQUE DES BASSINS SÉDIMENTAIRES ET DES PLATEAUX CONTINENTAUX

11
RÉFÉRENTIELS GÉOLOGIQUES RÉGIONAUX

14
RÉFÉRENTIELS HYDROGÉOLOGIQUES DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

17
GENÈSE ET CARACTÉRISTIQUES DES RÉGOLITHES

18
GÉOPHYSIQUE POUR L'INFRASTRUCTURE GÉOLOGIQUE

20
PROJETS REMARQUABLES

GÉODYNAMIQUE DES BASSINS SÉDIMENTAIRES ET DES PLATEAUX CONTINENTAUX

Ce programme pluridisciplinaire vise à comprendre la genèse des bassins sédimentaires, à analyser leur géométrie et à définir les propriétés de leur remplissage à différentes échelles d'espace et de temps.

Cette approche intégrée, depuis l'affleurement jusqu'aux données en profondeur (issues des forages et de la géophysique), permet la compréhension des phénomènes qui interagissent lors de l'évolution d'un bassin sédimentaire (eustatisme, flux sédimentaire, tectonique) et une reconstitution fine de son histoire géodynamique, informations indispensables pour la prédiction, l'exploitation et la gestion des ressources du sous-sol à terre ou en mer.

VALIDATION DES FORAGES ET CARTES ISOVALEURS (LOGISO) : DE LA GENÈSE DU RÉFÉRENTIEL GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE À L'ACCOMPAGNEMENT DES CHANTIERS RGF ET CHANTIERS D'OPPORTUNITÉS

Le projet LOGISO (pour LOGs validés et cartes ISOvaleurs) constitue historiquement l'un des projets-phares du Référentiel Géologique de la France (RGF). Il vise à codifier, harmoniser et valoriser les données de forages de la Banque de données du sous-sol (BSS) afin de produire, à la demande, des cartes isovaleurs (isohypses, isopaques, etc.). À ce jour, la base de données utilisée est riche de près de 90 000 forages de référence, disponibles sur le portail InfoTerre, également consultables en version mobile via l'application i-InfoTerre.

Outre la validation de nouveaux forages et le retraitement sismique, l'accent a été mis en 2016 sur une certification de la qualité des données et l'apport d'une valeur ajoutée aux données mises à disposition du public, basée sur la connaissance scientifique.

Ces évolutions consistent principalement en une réinterprétation des logs déjà saisis sur la base d'une phase de synthèse régionale. Plusieurs étapes de validation ont ainsi été définies. La première est une validation cohérente par un unique géologue ayant une bonne connaissance de la géologie régionale. L'étape suivante est une évaluation de la cohérence 3D sur la base de modèles géologiques simples et d'un corpus de logs de référence corrélés selon les principes de stratigraphie séquentielle. Pour ce faire, l'expert s'appuie en particulier sur les apports scientifiques les plus récents sur les bassins sédimentaires français afin de faire progresser la qualité des codages de log et grilles isovaleurs produites.

Parmi ces connaissances acquises récemment, on peut citer le chantier RGF Pyrénées, le post-doc Carnot "Fossés tertiaires" (terminé en avril 2016), les projets internes "Plateau continental" et "Metrocène" (synthèse tertiaire), le projet GAÏA (synthèse et modélisation du crétacé supérieur et Tertiaire du Bassin d'Aquitaine) ou encore la thèse "Le Paléogène du Bassin de Paris". Ainsi, les données mises à disposition ne seront, à terme, plus seulement des logs validés en 1D dont la pertinence est fonction du géologue validateur, mais des puits dont la cohérence 3D avec les forages avoisinants a été testée et validée. Le Tertiaire et le Crétacé supérieur, qui forment la partie superficielle d'une grande partie des bassins sédimentaires, sont souvent riches d'information de moyenne profondeur et d'une importance capitale dans l'aménagement du territoire, et constituent le premier objectif de ces harmonisations.

Les réalisations principales en 2016 ont été :

- le recodage de 1 050 forages dans le bassin d'Aquitaine, en lien avec le projet GAÏA ;
- la saisie de 180 forages validés et cohérents en 3D en Poitou-Charentes et Pays de la Loire ;
- la réinterprétation de 100 forages dans le Tertiaire du Bassin de Paris, reprise initiée en 2016 qui se poursuivra en 2017. Elle fait suite à la réinterprétation des séries tertiaires dans le cadre de la thèse "Le Paléogène du Bassin de Paris" et accompagne la réalisation de la carte réglementaire liée aux forages géothermiques de minime importance, actuellement en cours (300 forages validés).

L'évolution de la base de données LOGISO et sa mise en ligne sur InfoTerre permettront de mettre à disposition ces nouvelles informations. En outre, une première étape de validation des forages dans le Limousin et en Martinique ainsi qu'une interprétation des données sismiques non exclusives du Bassin de Paris et du fossé de la Bresse, permettront de réaliser des cartes isovaleurs des principales interfaces sédimentaires à l'échelle des bassins.

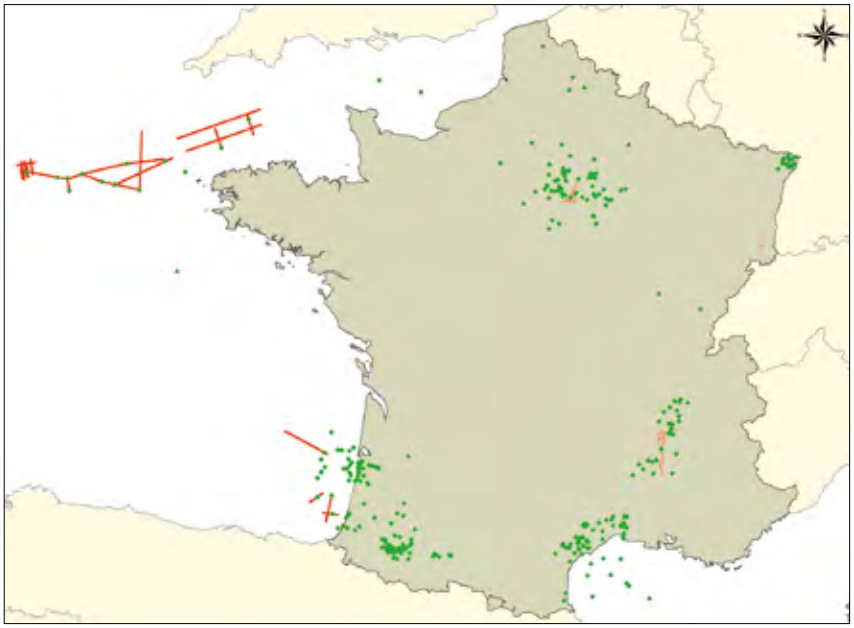


Fig. 1 - Localisation des 1 510 km de sismique pétrolière (en rouge) et des 516 forages (en vert) mis à disposition par le Guichet H en 2016. © BRGM

GUICHET HYDROCARBURES (GUICHET H)

La mission de gestion des données pétrolières publiques de forages et de sismique consiste à collecter les données originales, les informatiser et les archiver dans des formats et des supports modernes afin d'en faciliter la diffusion.

La mission "Guichet Hydrocarbures", confiée au BRGM par le Ministère chargé de l'Environnement, a d'ores et déjà permis de sauvegarder plus de 55 % des données de sismique acquises en France depuis les années 1970, soit plus de 138 000 km de profils linéaires (coupes). En 2016, 4 748 kilomètres de données de sismique (Golfe du Lion et Manche principalement) ont pu être archivés et environ 1 500 kilomètres de données de sismique ont été mis à disposition, dont plus de 84 % de sismique marine pour la mer d'Iroise et le golfe de Gascogne ***(Fig.1)***.

Les demandes de données de forages pétroliers (liées principalement à l'exploration pétrolière (56 %), à la géothermie (22 %) et à des synthèses géologiques (13 %) ont été légèrement inférieures en 2016 par rapport à 2015 (516 forages en 2016 pour 600 forages en 2015), sur l'ensemble des bassins français.

La fréquentation du site internet du "Guichet H" (anciennement www.beph.net, désormais www.minergies.fr), mis en ligne en septembre 2011, reste forte avec plus de 6 200 visites en 2016. Portail de diffusion nationale, il permet d'identifier et de localiser aisément les puits pétroliers et les données sismiques disponibles. Sa présentation bilingue (français-anglais) et son ergonomie facilitent les démarches de mise à disposition (détails des documents disponibles et devis en ligne).

RÉFÉRENTIELS GÉOLOGIQUES RÉGIONAUX

Le programme "Référentiels géologiques régionaux" constitue le cœur du programme national du RGF. Il a pour objectif de mettre en place une chaîne d'acquisition, de valorisation et de diffusion de la connaissance géologique, via la réalisation de synthèses sur les grandes régions géologiques de notre territoire.

Cette information géologique doit aujourd'hui être rationalisée (homogène, cohérente) et référencée en trois dimensions. Elle doit également intégrer la constante évolution des concepts scientifiques et pouvoir agréger, "en temps réel", les nouvelles acquisitions réalisées par l'ensemble de la communauté des Géosciences (CNRS, universitaires, industriels, établissements publics, etc.). Le programme "Référentiels géologiques régionaux" a pour but d'accompagner la mise en œuvre du RGF dans les cinq prochaines années, à travers la réalisation de grands chantiers régionaux et le développement d'une base de données RGF qui se nourrit en grande partie des données de la BSS et de celles de la carte géologique à l'échelle du 1/50 000. Depuis les années 2000, ces bases de données doivent répondre aux nouveaux besoins des utilisateurs et s'adapter aux nouvelles technologies et aux exigences de diffusion de données en termes d'interopérabilité (Directive européenne Inspire).

LA BANQUE DU SOUS-SOL (BSS)

La Banque de données du Sous-Sol (BSS) répertorie les informations géologiques et techniques brutes relatives aux ouvrages souterrains, dans le cadre de l'application du code minier. Les informations de chaque ouvrage déclaré sont rassemblées dans des dossiers archivés au sein des directions régionales du BRGM. Parallèlement, ces dossiers sont informatisés afin que les données soient intégrées à la BSS.
À fin 2016 et en quelques chiffres, la BSS compte plus de 852 432 dossiers. Le total de documents numérisés s'élève à 2 591 494, soit une moyenne de 3 documents par dossier.

Durant l'année 2016, 16 292 nouveaux ouvrages ont enrichi la base ***(Fig.2)***, avec également 30 050 niveaux géologiques numérisés et 42 020 documents scannés. Tous ces documents sont accessibles sur le site Internet InfoTerre du BRGM (http://infoterre.brgm.fr/). Près de 2 139 déclarations d'intention de travaux ont été transmises au BRGM par les services de l'État (en conformité avec l'article 131 du code minier).

Depuis le début 2016, le BRGM a initié un vaste projet de refonte de la BSS qui permettra d'aboutir, fin 2018, à la mise en place d'un véritable référentiel. Cette refonte, qui impacte une dizaine de projets thématiques du BRGM bancarisant ou utilisant des informations de la BSS, s'est matérialisée :

- par la mise en place d'une structure de pilotage comprenant un comité de gouvernance et un comité d'utilisateurs choisis à l'issue d'une enquête sur InfoTerre réalisée en avril 2016 ;
- par la tenue de nombreux groupes de travail ayant pour objectif d'évaluer les besoins en vue de définir le nouveau modèle conceptuel de données tout en homogénéisant les pratiques et outils thématiques ;
- et, en novembre 2016, par le changement de numérotation des objets de la BSS pour un indice non signifiant.

LA BANQUE DE GÉOLOGIE MARINE (BGM/BSSMER)

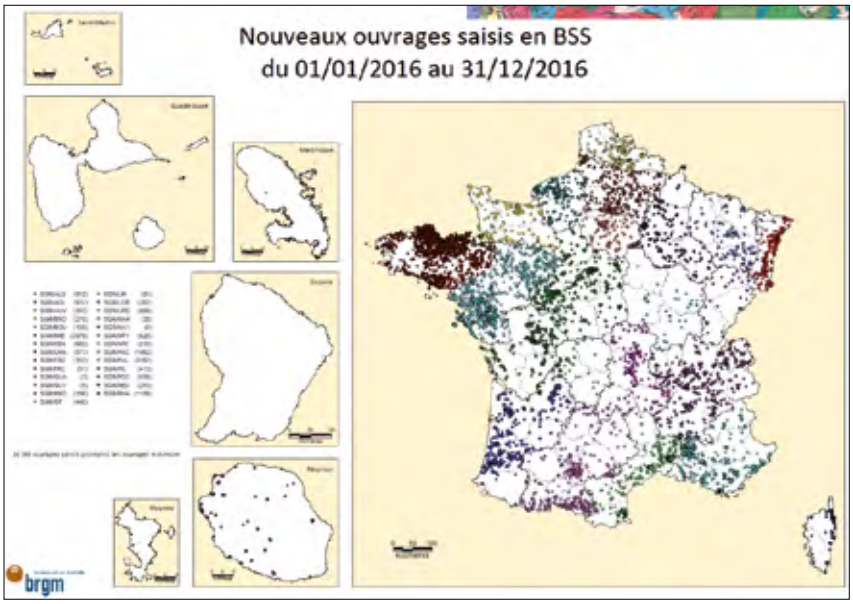
Alors que la BSS renferme les données continentales, une autre base, la Banque de Géologie Marine (BGM), nommée BSSmer, réalise un inventaire de données variées (forages, carottages, dragages, prélèvements superficiels de sédiments, plongées...) sur la nature du sol et du sous-sol relative au domaine maritime français autour de la métropole et de l'Outre-mer (Zone Économique Exclusive). La BSSmer permet d'assurer l'informatisation et la sauvegarde de ces données géologiques. Elle comprend à ce jour 57 911 échantillons dont 19 628 n'ont pas encore de descriptions géologiques. Les informations concernant les sondages publics sont consultables sur internet via InfoTerre ***(Fig.3)***.

Sur InfoTerre, chaque sondage géologique public renvoie vers une fiche descriptive consultable, comportant une description générale et une description géologique ***(Fig.4)***. La lithologie simplifiée est disponible lorsque les descriptions lithologiques brutes en texte libre sauvegardées dans la BSSmer sont codées en descriptions simplifiées. Ce travail de codage est effectué régulièrement depuis 2012, conformément aux lexiques BGM, et mis aux standards internationaux SeaDataNet et GeoSciML. Dans l'année 2016, 3 957 codages ont été réalisés et/ou vérifiés. À fin 2016 on recense ainsi 29 846 descriptions lithologiques codifiées sur 34 606. Ces descriptions lithologiques simplifiées sont consultables sur InfoTerre ainsi que sur le portail européen Geo-seas et SeaDataNet (http://www.geo-seas.eu).

Depuis 2012, suite au projet européen Geo-seas, la BSSmer comprend un module Géophysique (BGMg) dédié à la sauvegarde des métadonnées des campagnes d'acquisition géophysiques marines (pour l'instant essentiellement des données de sismique réflexion) acquises dans le cadre des projets du BRGM et de ses collaborateurs. Les métadonnées sont standardisées, conformément aux standards internationaux SeaDataNet et Geo-seas. Actuellement, les métadonnées de 1 304 profils sismiques issus de 17 campagnes de sismique réflexion, sauvegardées en BGMg, sont consultables sur le portail européen (http://www.geo-seas.eu/).

En 2016, les outils d'import et d'export des données de sondages ainsi que l'outil Access utilisé pour la codification des descriptions lithologiques ont été adaptés et testés pour fonctionner avec une base en PostGres. Fin février 2017, la BSSmer migrera en PostGres.

***Fig. 2** - Nouveaux ouvrages saisis en BSS en 2016.*
© BRGM



GÉOCHRONIQUE

Géochronique est une revue trimestrielle de vulgarisation des géosciences, coéditée par le BRGM et la Société Géologique de France. En 2016, trois numéros à dossiers thématiques ont été publiés : *"Les platinoïdes – Propriétés, utilisations, économie"* (mars 2016), *"Le potentiel minier métallique français"* (juin 2016) et *"Une histoire géologique du Massif armoricain"* (décembre 2016). Le numéro de septembre, habituellement composé de plusieurs articles sur des sujets variés des géosciences, a notamment permis de présenter des volcans et curiosités géologiques en Chine, l'utilisation des platinoïdes en cosmochimie et géochimie et une comparaison d'un minéral particulier présent dans les ciments, l'ettringite, à ses analogues naturels.

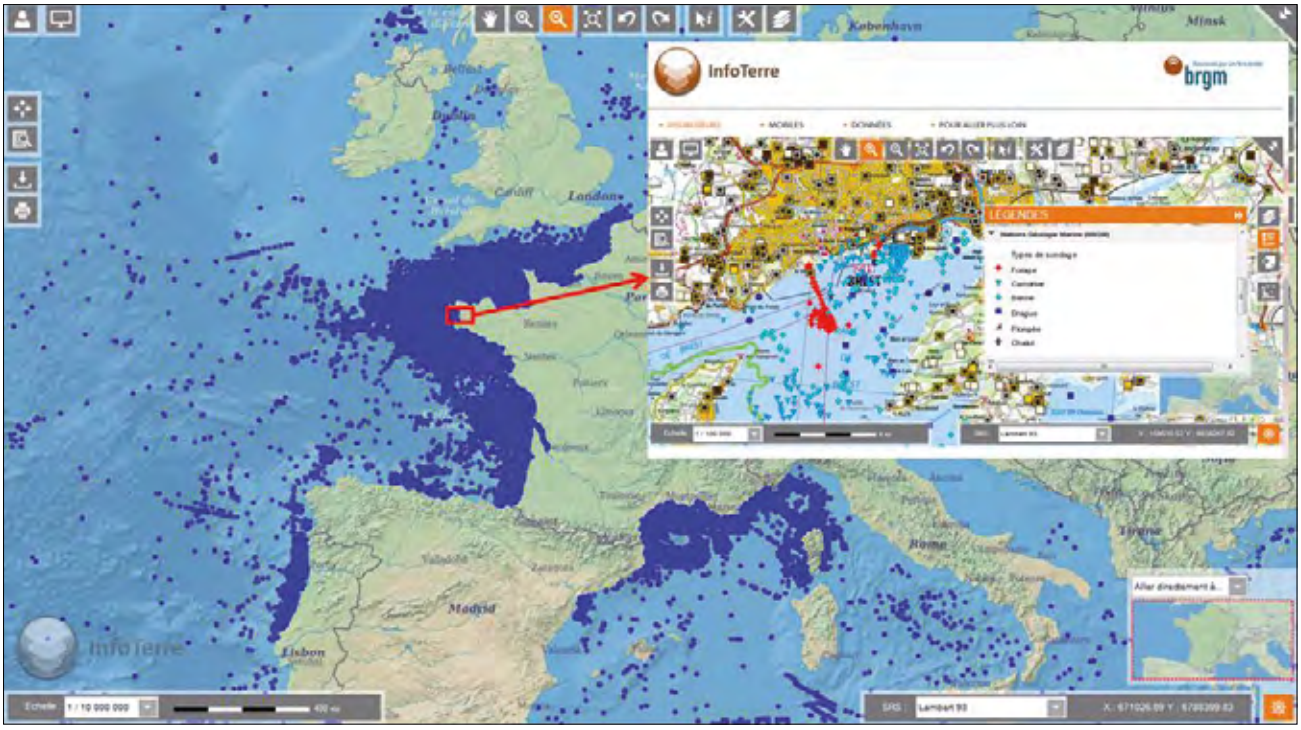


Fig. 3 - Localisation des prélèvements de géologie marine disponibles (publics) présents dans la BSSmer, sur fond de cartes topographique et bathymétrique mondiales (ETOPO2) à l'échelle de la Métropole, Encadré : visualisation par différents types de sondages de la BSSmer dans la rade de Brest (carré : sondage BSS).
© BRGM

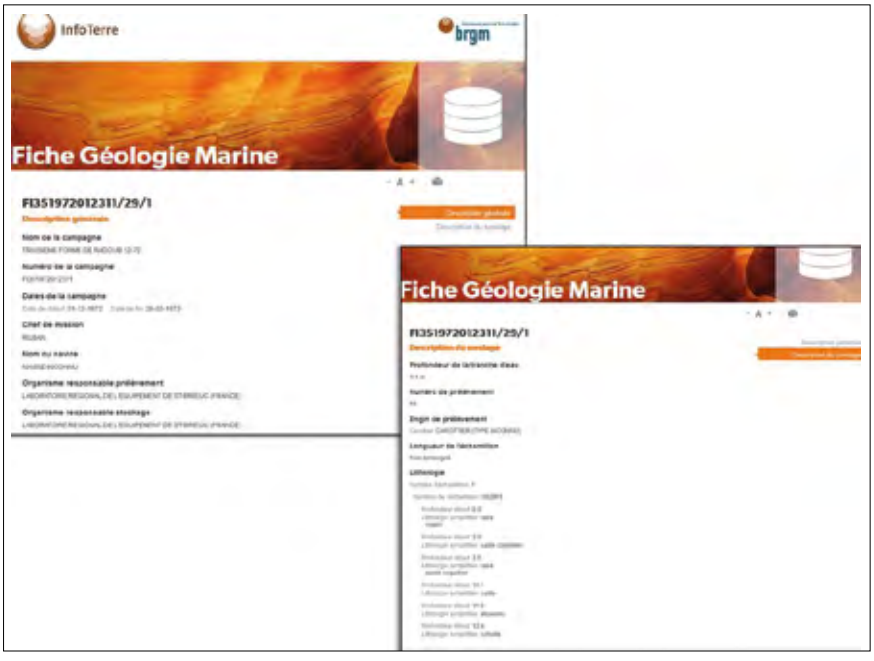


Fig. 4 - Exemple de fiches descriptives d'un sondage de la BSSmer. http://www.infoterre.fr
© BRGM

BANQUE DE DONNÉES DES CARTES GÉOLOGIQUES

Le BRGM a en charge la cartographie géologique du territoire national au 1/50 000 (plus de 1 000 cartes papiers et les fichiers numériques afférents). La mise en place du Référentiel Géologique de la France (RGF) ainsi que l'évolution des usages, des formats de stockage numériques, des systèmes de projection et des formats de fourniture de l'information géologique, requièrent le renforcement des processus de sauvegarde et de mise à disposition de jeux de données complets de cartographie géologique.

Les travaux de collecte, validation et mise à disposition des cartes géologiques (France métropolitaine à 1/50 000) initiés en 2011, ont été poursuivis avec, en particulier en 2016, la mise à niveau de la couverture des cartes géologiques imprimées au 1/50 000 sous InfoTerre. Parallèlement, en 2016, les bases de données "Géochronologie" et "Lames minces" initiées en 2014 ont été renseignées sur le Massif armoricain, avec l'intégration des données de la carte géologique au 1/50 000 de Vihiers.

Fig. 5 - Zone de travail réaménagée de la géothèque du BRGM à Orléans. © BRGM

PATRIMOINE GÉOLOGIQUE ET GÉOTHÈQUES

En 2016, le BRGM a poursuivi sa participation aux travaux de la commission de validation nationale des inventaires du patrimoine géologique, en appui au Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN). Les inventaires de la Bretagne, du Cher, de l'Eure, de la Guadeloupe, de l'Indre-et-Loire, du Limousin et de Mayotte ont ainsi été examinés et certains d'entre eux validés (Cher, Eure, Indre-et-Loire, Limousin et Mayotte). À la demande du Ministère chargé de l'Environnement, le BRGM a par ailleurs élaboré une proposition pour la réalisation en 2017-2018 de l'inventaire de Saint-Pierre et Miquelon. Enfin, le BRGM s'est à nouveau consacré à la coordination de l'inventaire en cours de la région Centre-Val de Loire.

En ce qui concerne les géothèques, en parallèle à sa mission institutionnelle d'animateur de l'Inventaire National du Patrimoine Géologique (INPG) et de son accompagnement à la réalisation de plusieurs inventaires régionaux, le BRGM poursuit le tri et la réorganisation de ses propres collections sur le site d'Orléans ***(Fig.5)***.
En raison du coût et de la valeur scientifique des forages, il est apparu essentiel de garantir une bonne conservation des carottes échantillonnées dans le sous-sol français. Le reconditionnement en caisses en plastique imputrescible de 2 000 m de carottes de forages réalisés dans le bassin houiller de Lucenay, stockées dans des caisses en bois attaquées par des insectes xylophages, a été initié. Suite à la construction d'une extension de 400 m², l'année 2016 a été consacrée au réaménagement complet du bâtiment avec optimisation de l'implantation des racks de stockage et aménagement de la zone de travail.

RÉFÉRENTIELS HYDROGÉOLOGIQUES DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Ce programme a pour enjeu principal la capitalisation de la connaissance sur les eaux souterraines.

Le BRGM est responsable de la connaissance du sous-sol, dont les aquifères, et élabore à ce titre des référentiels hydrogéologiques nationaux (BDLISA, masses d'eau souterraine). Le BRGM effectue également des travaux pour l'amélioration des connaissances hydrogéologiques, sous forme de synthèses régionales ou d'atlas cartographiques départementaux, et apporte son expertise dans le cadre d'appuis à la police de l'eau ou par des développements méthodologiques relatifs à la législation.

La mise à disposition publique d'informations synthétiques par le biais des SIGES[1] répond aux attentes des gestionnaires, des bureaux d'études et d'un large public. Elle s'inscrit dans le cadre des recommandations européennes (directive INSPIRE - 2007/2/CE), visant à établir une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne pour favoriser la protection de l'environnement.

[1] *SIGES : Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines.*

Fig. 6 - Indicateur d'avancement sur les liens point d'eau - masse d'eau - BDLISA pour les points d'eau des réseaux DCE.
© BRGM

Janvier 2017	DCE		
Nombre total points d'eau rattachés à un identifiant national BSS	5172		
Référentiel	**MEV 2010**	**MEV 2013**	**BDLISA**
Nombre d'associations existantes	**5022**	**5023**	**5052**
Inconnu	151	8	
Positionnement géographique	343	201	262
Interprété	1095	4334	4547
Amélioration connaissance	430	476	220
Non qualifié	3003	4	23
Aucune association existante	**150**	**149**	**120**
Nombre points sans association	**9 (<1%)**		**120 (3%)**

ÉVOLUTION DES RÉFÉRENTIELS

Suite à l'état des lieux 2013 ayant permis la révision des SDAGE et le rapportage 2016 à l'Europe sur l'état des masses d'eau, l'analyse des pressions et impacts ainsi que l'évaluation du risque de non atteinte des objectifs environnementaux, deux besoins, en relation avec les référentiels hydrogéologiques, ont été mis en avant par les autorités des bassins. Ces deux besoins visent à améliorer le rapportage dans le cadre du prochain cycle de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE) : il s'agit de la révision des contours des masses d'eau et du rattachement des points de surveillance aux masses d'eau.

La révision des contours des masses d'eau, mineure dans certains bassins et plus significative dans d'autres, doit se baser sur la délimitation des contours des entités hydrogéologiques BDLISA. Divers chantiers ont en effet été lancés depuis la publication de la première version de BDLISA en 2012 afin d'améliorer de manière continue et collaborative ce référentiel. Une nouvelle méthodologie a notamment été proposée pour la délimitation des entités hydrogéologiques en zone de socle. Quatre régions (Bretagne, Poitou-Charentes, Auvergne et Basse-Normandie) ont été ciblées à l'issue d'une journée technique "socle" afin de tester la méthode en 2016. Le travail de re-délimitation et d'analyse pour la caractérisation des entités de socle se poursuivra dans les années à venir.

En outre, un outil de remontée des anomalies (une "forge") a été mis en place afin de recueillir et de gérer les demandes de révision et correction qui pourraient être émises par les gestionnaires de la ressource en eau (DREAL, Agences de l'eau), les bureaux d'études ou autres hydrogéologues s'appuyant régulièrement sur la BDLISA. Chaque demande fait l'objet d'une réponse argumentée par les hydrogéologues des directions régionales du BRGM et d'une correction du référentiel avec proposition de nouvelles couches SIG de délimitation des entités. Cette priorité d'action permettra ensuite d'utiliser le référentiel hydrogéologique comme base de révision des masses d'eau. Ainsi, pour le bassin Seine-Normandie, un projet d'envergure a été mis en œuvre en 2016 afin de proposer un réajustement des masses d'eau souterraine s'appuyant sur la BDLISA. L'enjeu était de pouvoir disposer de secteurs de masses d'eau dont le fonctionnement hydrogéologique est homogène, et stable dans le temps, dans le but de rendre plus pertinentes et efficaces les politiques de gestion d'une part, et les exercices d'évaluation de l'état (quantitatif et qualitatif) en vue du rapportage d'autre part.

En Martinique, le résultat de la re-délimitation des masses d'eau a abouti à une partition du bassin en huit domaines hydrogéologiques. Ce nouveau découpage n'entraine cependant pas de modification des réseaux de surveillance de l'état chimique et de l'état quantitatif des eaux souterraines en place actuellement, qui continuent de répondre aux besoins de la Directive-Cadre européenne.

Entrepris depuis 2013, les travaux de rattachement des points d'eau au référentiel hydrogéologique et au référentiel DCE des masses d'eau souterraine se sont poursuivis en 2016, avec comme priorité le rattachement des points de suivi DCE (réseau de contrôle surveillance RCS et réseau de contrôle opérationnel RCO) et du réseau de surveillance de la directive nitrates. Sur les 5 172 points d'eau concernés, plus de 95% disposent d'une association au référentiel masse d'eau (quelle que soit sa version) et au référentiel BDLISA et plus de 90 % des associations (masse d'eau, version EdI2013 et BDLISA) sont réalisées avec une qualité interprétée ou améliorée, ce qui atteste d'un bon niveau de connaissance des points d'eau de ce niveau de priorité ***(Fig.6)***.

OUTILS CARTOGRAPHIQUES

La fin du printemps 2016 a été marquée par des pluies très excédentaires sur une grande partie de l'Hexagone, avec des cumuls de pluie une fois et demi à trois fois supérieurs à la normale sur la moitié nord. À la faveur de précipitations marquées de fin mai à début juin, les cumuls ont atteint des valeurs records au nord d'un axe Nantes (Loire-Atlantique) / Pontarlier (Doubs), provoquant des inondations sur plusieurs régions.

Certaines inondations sont dues à une remontée de nappes suite à une succession d'années humides, des crues de cours d'eau induisant des remontées de nappe à proximité du lit d'une rivière ou une modification de l'hydrodynamique locale en raison d'aménagements. Le terme "remontée de nappe" couvre des phénomènes divers ayant des causes variées dont les mécanismes peuvent être très différents et dont certains sont souvent oubliés. En raison de la forte inertie des nappes souterraines, les phénomènes de hautes eaux de nappe, et les inondations de sous-sol ou de

surface qui peuvent en découler sont susceptibles de se manifester durant plusieurs semaines, voire plusieurs mois. L'identification de l'implication des eaux souterraines dans les inondations requiert une expertise dont disposent les hydrogéologues du BRGM qui interviennent, en appui des Ministères de l'Environnement et de l'Intérieur dans l'instruction des dossiers de reconnaissance d'état de catastrophe naturelle.

En 2016, des avis hydrogéologiques suite aux inondations par remontée de nappe ont été émis dans les Hauts-de-France (Ardennes, Oise et Somme), en régions Centre-Val de Loire (Cher, Eure, Loiret), Grand Est (Aube, Bas-Rhin), Auvergne-Rhône-Alpes (Allier), Pays de la Loire (Sarthe, Loire-Atlantique) et Nouvelle-Aquitaine (Vienne, Pyrénées-Atlantiques).

L'instruction de ces dossiers a bénéficié des dernières avancées méthodologiques testées afin d'établir une cartographie des inondations potentielles par remontée de nappe à l'échelle nationale, dans l'objectif d'une mise à jour de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI). De même, les connaissances locales acquises dans le cadre des expertises hydrogéologiques de remontées de nappe permettront d'affiner la méthodologie nationale proposée par retour d'expérience et apport de données de contrôle.

DIFFUSION DES INFORMATIONS HYDROGÉOLOGIQUES

Le BRGM s'attache à proposer des synthèses hydrogéologiques et préparer des documents de vulgarisation à destination d'un public varié. Ces documents sont diffusés, entre autres, par l'intermédiaire des Systèmes d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines (SIGES) permettant ainsi de valoriser les travaux réalisés et diffuser les connaissances sur les eaux souterraines. Des plaquettes d'information permettant la valorisation des travaux effectués dans le cadre de la convention avec l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) ont ainsi été préparées. Elles traitent de la protection des captages d'alimentation en eau potable (AEP), de la représentativité des réseaux, de l'outil d'estimation des tendances d'évolution (HYPE), des méthodes de décomposition des chroniques de qualité des eaux souterraines, du modèle Hydro-Économique pour l'optimisation des programmes de mesures, de l'estimation des débits critiques ou encore de l'évaluation de la recharge des aquifères.

Plusieurs écrits courts, traitant de sujets variés comme par exemple les fonds hydrogéochimiques élevés en sélénium, l'âge des eaux souterraines, la protection d'un captage,... sont également venus agrémenter le SIGES de Seine-Normandie. Ainsi, les SIGES des différentes régions s'enrichissent régulièrement de documents techniques rédigés pour un public averti et expert ainsi que de documents de vulgarisation : vidéos et animations.

En 2016, l'actualisation de la synthèse hydrogéologique du département du Tarn a été réalisée et diffusée via le SIGES Midi-Pyrénées. Ce travail a porté sur huit axes principaux, à savoir le contexte géographique, la connaissance de la géologie et des ressources en eaux souterraines, l'exploitation de la ressource, la qualité des eaux et la vulnérabilité des nappes vis-à-vis des pollutions, les ressources en eaux thermo-minérales et les différentes modalités de gestion et de protection des eaux souterraines.

Enfin, dans le cadre du projet VAITEA, qui vise à doter la Polynésie française d'outils performants de gestion et d'exploitation des ressources en eaux souterraines de façon à faire face aux défis actuels, une synthèse des connaissances sur le potentiel aquifère des îles volcaniques issues de points chauds, telles que La Réunion, Hawaï, Madère ou les îles de Polynésie, a été réalisée.

ACQUISITIONS DE PARAMÈTRES HYDROGÉOLOGIQUES NÉCESSAIRES À UNE MEILLEURE GESTION DE LA RESSOURCE

Afin de garantir une gestion raisonnée de la ressource en eau, un des paramètres délicat, mais néanmoins nécessaire à obtenir, est l'estimation de la recharge. S'il est aisé d'obtenir la pluie efficace, soit directement auprès de Météo-France soit indirectement par bilan hydrique, il est moins immédiat de réaliser une partition de cette pluie efficace entre ruissellement et infiltration (celle-ci représentant la recharge des nappes). Le rapport entre ces deux flux dépend en effet de nombreux paramètres (caractéristiques du bassin, des sols et du sous-sol). Une étude nationale a été menée sur les méthodes d'estimation de la recharge en parallèle d'un projet de recherche mené en Rhône-Méditerranée spécifiquement pour les milieux karstiques. L'étude, réalisée dans le cadre de la convention Agence Française pour la Biodiversité-BRGM, avait pour objectif de recenser et analyser les méthodes utilisables pour l'évaluation de cette recharge et d'en préciser les limites. Les méthodes testées devaient répondre aux critères suivants : être applicables à des unités spatiales d'au moins quelques dizaines de km², fournir des résultats permettant d'obtenir des valeurs moyennes de la recharge sur des périodes de plusieurs années, être spatialisables, utilisables avec peu de paramètres et des données faciles à obtenir et enfin faciles à mettre en œuvre. Les diverses méthodes ont été testées sur 26 bassins modélisés. Cette étude a permis de conclure que les méthodes basées sur le calcul d'un écoulement de base (base flow index[2]) et l'IDPR[3] sont les plus pertinentes dans la plupart des cas (hors systèmes karstiques).

D'autres paramètres ou caractéristiques intrinsèques des aquifères nécessaires pour la gestion des eaux souterraines s'acquièrent essentiellement par essais de pompage. Dans le cadre du pôle national de modélisation hydrogéologique (AFB-MEEM/DGALN/DEB-CEREMA-BRGM), les acteurs de l'État (DDT, DREAL, agences) ont sollicité la réalisation de documents et outils relatifs aux forages et essais de pompages. Le BRGM a proposé une note sur la réalisation et l'interprétation des pompages d'essai par paliers indiquant les bonnes pratiques et cas d'études à l'aide du logiciel d'interprétation de données OUAIP (logiciel dédié à l'interprétation et à la simulation des pompages d'essais en hydrogéologie), qui compte actuellement plus de 2 000 utilisateurs. Le BRGM a également initié la rédaction d'une synthèse des principales difficultés rencontrées suite à la mauvaise exécution d'un forage d'eau (défaut de cimentation, massif de gravier inadapté, mauvais choix des composants

[2] Base Flow Index : indice de débit de base mesurant, sur une période donnée, la proportion du débit total du cours d'eau constituée par le débit de base (rapport entre le volume provenant de l'écoulement de base et le volume total mesuré).

[3] L'IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux) est un indicateur caractérisant de façon relative la capacité d'infiltration/ruissellement d'une unité spatiale.

du forage, éboulement, écrasement des tubages, etc.) afin de proposer des points de vigilance, en fonction des contextes (géologie, usage, profondeur, etc.), à indiquer dans les cahiers des charges.

Dans le cadre des appuis à police de l'eau ou d'études locales, les hydrogéologues sont régulièrement amenés à donner un avis ou réaliser des études pour identifier les nappes captées, estimer l'exploitabilité ou les possibilités d'augmenter les prélèvements d'eau sans affecter la réserve souterraine ou impacter les eaux de surface (rivières ou zones humides) en relation avec les eaux souterraines.

Lors de la réalisation de forage ou de piézomètre, le BRGM donne un avis d'expert afin de garantir la bonne réalisation des travaux et la préparation adéquate des dossiers déclaratifs. Lors de la fermeture d'un captage, un inventaire, un diagnostic ou encore des recommandations quant au devenir des captages peuvent être établis.

VALORISATIONS RÉALISÉES

Faucher A., Dupuy A., Franceschi M., Andre L., Larroque F., Pedron N., Wuilleumier A., 2016.
Caractérisation des écoulements souterrains en milieu semi-perméable par approche couplée géochimie-hydrodynamisme : Application sur les formations molassiques tertiaires dans le secteur de Gondrin (Gers, France). *In 25ème Réunion des sciences de la Terre (RST 2016), Caen, France, October 2016.*

Salquèbre D., Billault P., Verley F., Allier D., 2016.
Mise en œuvre d'une méthodologie pour délimiter les nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable : application sur le bassin Loire-Bretagne. *Géologues, 191 : 46-48.*

Gutierrez A.
Réaliser un pompage par palier dans les règles de l'art. *Plaquette BRGM.*

GENÈSE ET CARACTÉRISTIQUES DES RÉGOLITHES

Situé à l'interface de la lithosphère, de la biosphère, de l'atmosphère et de l'anthroposphère, le régolithe est un milieu hétérogène et évolutif. Enregistreur d'événements multiples, de très anciens à récents, voire historiques, il constitue un témoin de la dynamique des surfaces continentales, en relation avec les variations climatiques passées et actuelles. Localisé en (sub)surface, le régolithe présente une multiplicité d'usages, en tant que ressource et support pour les activités humaines.

En effet, le régolithe constitue en lui-même une ressource (matériaux, eau, énergie) mais il est également le témoin possible de ressources sous-jacentes et, de ce fait, abondamment prospecté par les géologues miniers. En tant que support des activités et occupations humaines, ses propriétés géotechniques et physico-chimiques sont parfois modifiées et il peut être le réceptacle de pollutions de tous types. De plus, sa dynamique d'évolution engendre, dans certains contextes ou forçages, des aléas dommageables aux infrastructures et aux activités humaines. Enfin, la connaissance du régolithe apporte des éléments signifiants et complémentaires pour l'utilisation des sols, sièges de productions de biomasse au travers des activités agricoles, sylvicoles, etc.

Constituant aujourd'hui un des thèmes privilégiés dans le domaine des géosciences, le régolithe est donc l'objet de nombreux débats scientifiques et son étude conduit à mettre en œuvre de nouvelles méthodes d'investigation pour une vision intégratrice. Ce programme a pour objectifs de préciser les processus à l'origine de la formation des terrains du régolithe et de qualifier les géométries et les différentes propriétés physiques et chimiques qui les caractérisent. Grâce à la combinaison des méthodes d'analyse et des études pluridisciplinaires, il traite des données de nature et de résolution variées, depuis l'observation naturaliste jusqu'à la mesure, la quantification et l'évaluation des incertitudes liées à ses propriétés intrinsèques, qu'elles soient d'ordre physique ou chimique.
Il comprend l'acquisition de données sur le terrain, les mesures en laboratoire, le traitement et l'interprétation des données, la production de modèles géologiques et la diffusion d'informations multithématiques et multi-échelles sur des secteurs parfois à forts enjeux socio-économiques. Il s'adresse aux milieux continentaux et côtiers, hétérogènes et théâtres de processus complexes.

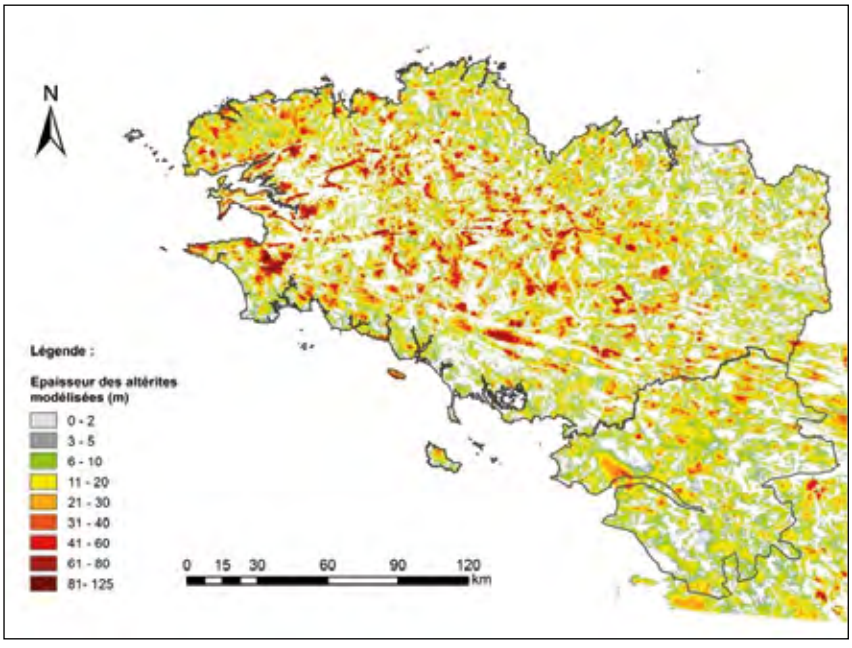
CARTOGRAPHIE PRÉDICTIVE DES FORMATIONS MEUBLES DU MASSIF ARMORICAIN

La connaissance des formations du régolithe reste aujourd'hui essentiellement cartographique (2D). En lien avec le RGF (Référentiel Géologique de la France), l'objectif est désormais d'acquérir une représentation 3D du sol et du sous-sol avec l'exigence de rendre l'information continue, homogène, cohérente et actualisable et de développer *in fine* des outils de géosciences prédictifs (modèles et cartes issues des données résultant de calculs géostatistiques et de travaux de modélisation).

Dans le cadre du projet “Régolithe”, des actions sont menées en matière de valorisation des données existantes (logs géologiques validés disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol) pour réaliser des modèles géologiques 3D des formations meubles de surface, en contexte de socle magmatique et métamorphique. La couverture des surfaces modélisées est propagée depuis la région Bretagne (finalisée en 2014) jusqu’au département de la Loire-Atlantique (finalisée fin 2016) ***(Fig.7)***.
L’objectif à terme est d’étendre les résultats des modèles 3D à l’ensemble du Massif armoricain.

Les données sont valorisées par leur mise à disposition du public sur le portail InfoTerre et à terme, par une mise à disposition sur d’autres serveurs de données interopérables.

Fig. 7 - Carte de l’épaisseur modélisée des altérites (formations géologiques de surface meubles) obtenue pour la région Bretagne et le département de la Loire-Atlantique, échelle 1/ 1 500 000.
© BRGM



GÉOPHYSIQUE POUR L’INFRASTRUCTURE GÉOLOGIQUE

Ce programme est destiné à développer la connaissance géophysique du territoire national : en suscitant et en réalisant l’acquisition de couvertures géophysiques régionales modernes ; en développant des outils de traitement et de modélisation performants de ces données ; au travers d’actions de valorisation, de formation et de diffusion vers les utilisateurs.

Il intervient en support du programme Référentiel Géologique de la France (RGF) et, plus largement, fournit une part essentielle de la connaissance du sous-sol avec la description des géométries géologiques en profondeur, comme de certaines propriétés physiques et parfois chimiques. Il met en œuvre les méthodes géophysiques régionales : gravimétrie, magnétisme, radiométrie gamma et électromagnétisme par voie aéroportée et gravimétrie au sol. Il développe des méthodes et outils pour accroître l’intégration des résultats géophysiques dans des modèles géologiques, pour la connaissance scientifique comme pour des applications finalisées (eau, géothermie, risque, etc.).

En appui aux politiques publiques, ce programme promeut, inventorie et met à disposition une infrastructure, d’échelle régionale, de connaissance géophysique du territoire national, notamment en ce qui concerne les levés aérogéophysiques et la carte gravimétrique de la France. Il assure de plus la mission de gestion et diffusion de cette information vers les utilisateurs, au travers des deux projets, BD-Gravi et BD-Aéro.

BANQUE NATIONALE DE DONNÉES DE GRAVIMÉTRIE

Les données gravimétriques acquises depuis 1950 sur le territoire national sont recensées par le BRGM au titre du code minier ; elles constituent, avec plus de 420 000 stations en métropole, une infrastructure nationale exceptionnelle de données, utilisée pour l’imagerie du sous-sol comme en géodésie. Le BRGM a la responsabilité de leur collecte, de leur validation et de leur mise à disposition : depuis plus de 10 ans, la donnée gravimétrique est en accès libre sur le portail InfoTerre (http://infoterre.brgm.fr/). Elle est également mise à disposition pour répondre à des besoins de large envergure, comme avec l’IGN, lors de la révision de géoïdes altimétriques régionaux en métropole ou dans les DROM.

En 2016, de nouvelles études ont été recensées telles que, par exemple, un levé sur le plateau de Sault, ou une campagne de mesures dans le bassin de Marchésieux. Ces données sont archivées avant d’être rendues publiques.

En parallèle, dans le cadre de l’inventaire d’archives initié en 2010 à Orléans

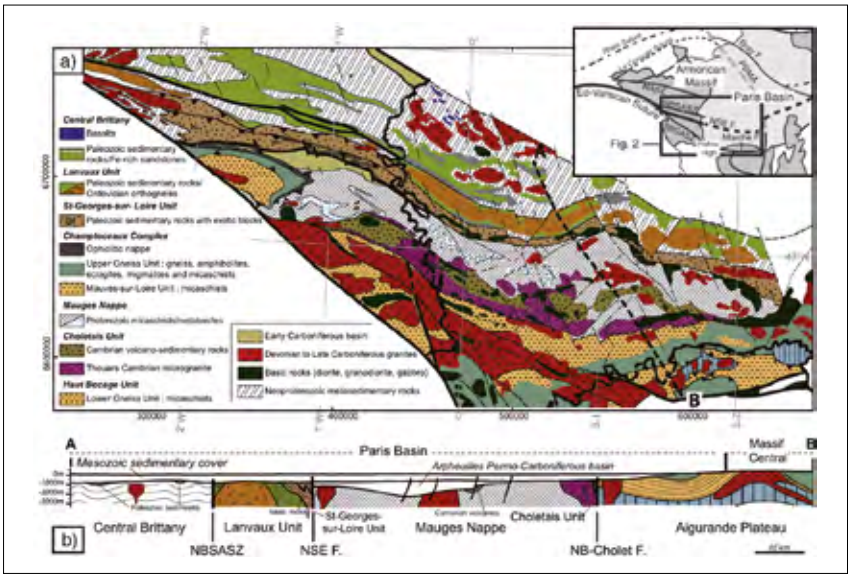


Fig. 8 - Carte et coupe du substratum anté-triasique du sud-ouest du bassin de Paris interprétée sur la base de couvertures géophysiques régionales, dont la gravimétrie.
© BRGM

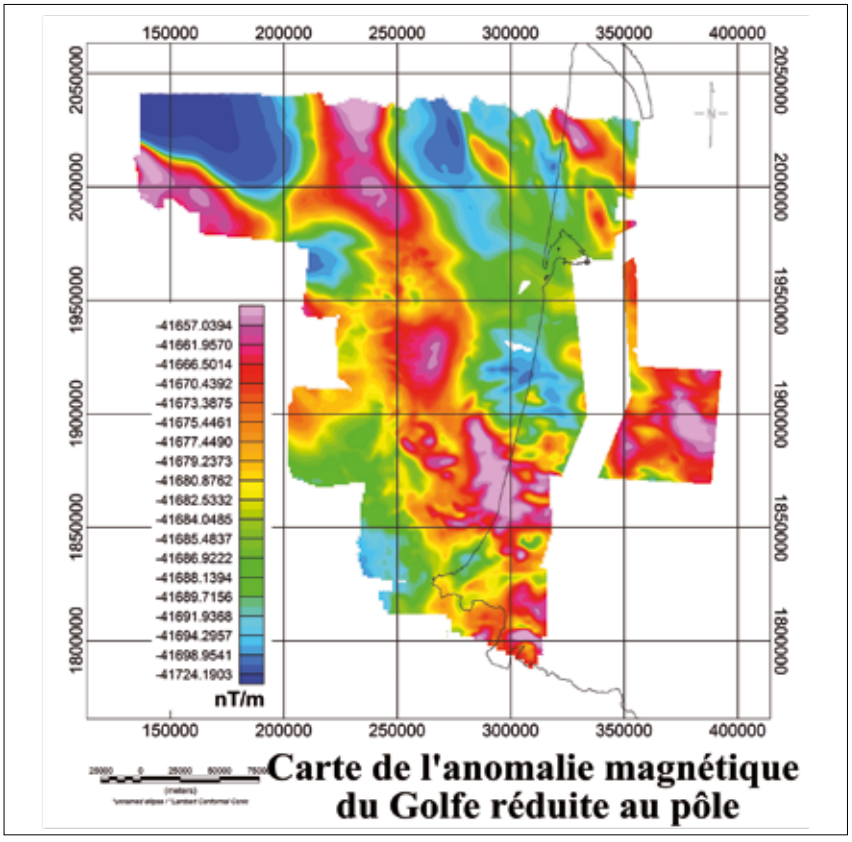


Fig. 9 - Carte aéromagnétique obtenue après compilation d'une partie du Golfe de Gascogne.
© BRGM

et poursuivi en régions, depuis 2012, plusieurs milliers de stations gravimétriques, qui n'avaient pas été intégrées à la Banque Gravimétrique de la France (BGF), ont été identifiées. Ainsi, selon la méthodologie mise en place en 2011, la numérisation et le retraitement de ces anciennes études pour leur intégration à la BGF se poursuivent graduellement, en fonction de leur intérêt.

La compilation de ces données gravimétriques ponctuelles permet l'établissement de cartes gravimétriques régionales, supports de valorisation pour des travaux de connaissance géologique – comme illustré ici pour l'étude du substratum du bassin de Paris ***(Fig.8)***.

BANQUE NATIONALE DE DONNÉES DE GÉOPHYSIQUE AÉROPORTÉE

Les données de géophysique aéroportée constituent, au même titre que les données sismiques ou les données de forage, une information de base pour la connaissance géologique du territoire. L'ensemble de ces données relève du code minier et leur acquisition sur le territoire doit, à ce titre, faire l'objet d'une déclaration ; les données acquises doivent être transmises au BRGM, qui en assure l'archivage et la diffusion le cas échéant.

Au travers de la BD-Aéro, le BRGM a souhaité donner de la visibilité aux données aérogéophysiques : depuis 2012, les informations sur les métadonnées des campagnes aérogéophysiques sont diffusées au public sur le portail InfoTerre ; les emprises et les caractéristiques des levés sont renseignées.

En 2016, les actions de la BD-Aéro ont porté :

- d'une part sur les données anciennes : une banque d'images géoréférencées est constituée à partir des cartes papier anciennes, principalement aéromagnétiques et collectées dans le cadre d'un inventaire initié en 2010 dans les archives d'Orléans et poursuivie, depuis 2012, en régions. En parallèle, une numérisation graduelle de ces documents et leur fusion sous forme de grilles de données régionales est menée ***(Fig.9)*** ;
- d'autre part, les données numériques des levés récents sont bancarisées et archivées dans l'attente de l'expiration de leurs délais de confidentialité.

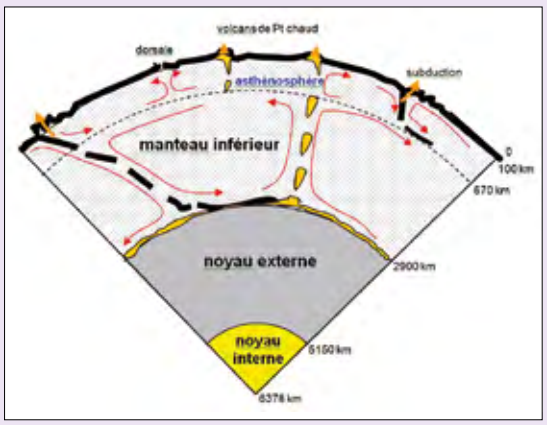
PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

BILAN DES CONNAISSANCES SUR LE VOLCANISME ET L'HYDROGÉOLOGIE DES POINTS CHAUDS EN POLYNÉSIE FRANÇAISE

La création des cinq archipels polynésiens est liée au fonctionnement de plusieurs points chauds.

Les 118 îles qui forment actuellement la Polynésie française correspondent à la partie émergée de monts sous-marins mis en place lors des 20 derniers millions d'années. Les conditions différentielles de subsidence, d'érosion et les éventuels mouvements tectoniques sont à l'origine de la variété des paysages, depuis le volcan-bouclier jusqu'à l'atoll corallien. Les formations essentiellement basaltiques qui constituent ces édifices renferment des ressources en eau au sein d'un aquifère basal en équilibre sur la nappe d'eau salée et d'aquifères perchés plus difficiles à capter. Sur l'île de Tahiti, on suppose une quasi-déconnexion entre les aquifères perchés et l'aquifère basal. Le projet VAITEA, qui s'intéressera également à l'hydrogéologie des atolls et îles mixtes, permettra de valider cette hypothèse.



Coupe schématique de la Terre depuis la surface jusqu'à son noyau.

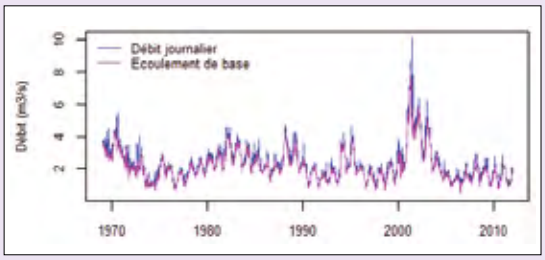
MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA RECHARGE DES NAPPES

La recharge des aquifères est un paramètre essentiel à la gestion quantitative des ressources en eau, souvent délicat à obtenir sans recourir à des moyens importants passant par l'élaboration de modèles hydrodynamiques maillés. À l'échelle des aquifères, plusieurs méthodes existent pour le calcul de la recharge, chacune avec ses limitations et son domaine d'application spatial et temporel.

L'étude du BRGM recense et analyse les méthodes utilisables pour l'évaluation de la recharge et en précise les limites. Trois méthodes, basées sur la décomposition d'hydrogrammes, sont sélectionnées et appliquées à 29 bassins versants. Compte tenu de l'intérêt de ces méthodes de décomposition d'hydrogrammes, et malgré quelques limitations, il est jugé intéressant, pour réaliser l'estimation des pressions quantitatives significatives sur les eaux souterraines dans le cadre de la Directive-Cadre sur l'Eau, de rechercher une relation entre l'IDPR et le BFI d'une part et entre l'IDPR et le rapport Écoulement de base/Pluie efficace d'autre part.

IDPR (Indice de Développement et de Persistance des Réseaux) est un indicateur caractérisant de façon relative la capacité d'infiltration/ruissellement d'une unité spatiale.

Base Flow Index : indice de débit de base, mesurant, sur une période donnée, la proportion du débit total du cours d'eau constituée par le débit de base (rapport entre le volume provenant de l'écoulement de base et le volume total mesuré).



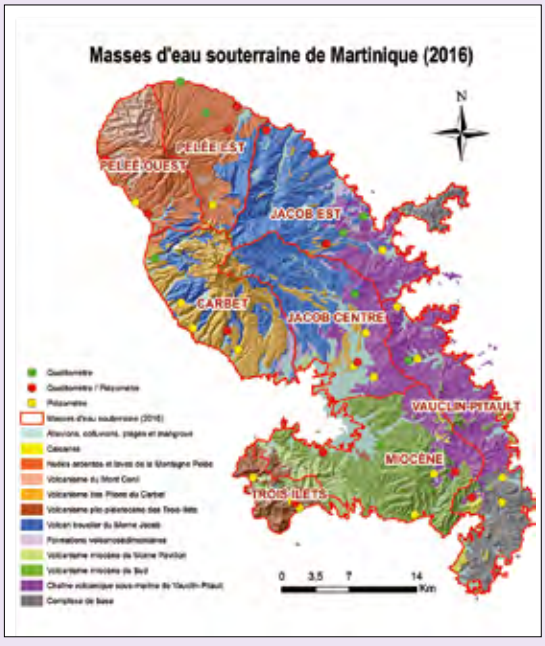
Calcul de l'écoulement de base (base flow Index, BFI) pour le bassin de l'Avre.

RÉVISION DE LA DÉLIMITATION DES MASSES D'EAU SOUTERRAINE DE LA MARTINIQUE

La pré-délimitation des masses d'eau souterraine de Martinique réalisée en 2003 est devenue obsolète au regard des nouvelles connaissances acquises depuis treize ans. En application de la Directive-Cadre sur l'Eau 2000/60/CE, le BRGM a réalisé, à la demande de l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et de la DEAL, un redécoupage répondant plus pertinemment à la définition d'une masse d'eau souterraine.

Les résultats de cette délimitation actualisée ont abouti à une partition du bassin Martinique en huit domaines hydrogéologiques cohérents au regard des connaissances actuelles.

Ce redécoupage n'entraine toutefois pas de modification des réseaux de surveillance de l'état chimique et de l'état quantitatif des eaux souterraines en place, qui répondent de manière satisfaisante aux besoins de la Directive-Cadre européenne (DCE).

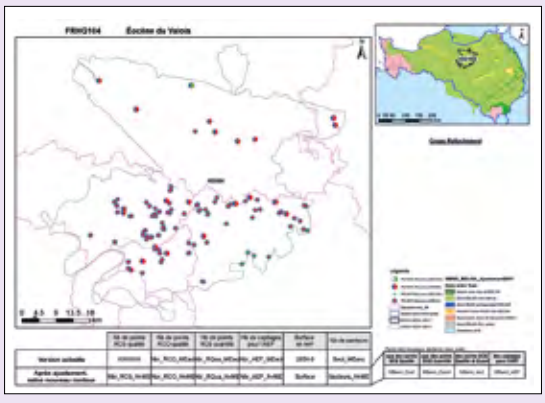


Cartographie des masses d'eau souterraine de Martinique (2016).
© BRGM

SECTORISATION HYDROGÉOLOGIQUE DES AQUIFÈRES DU BASSIN SEINE-NORMANDIE

Depuis 2004, date de la première délimitation des masses d'eau souterraine pour la Directive-Cadre sur l'Eau, les connaissances sur la structure et le fonctionnement des aquifères du Bassin parisien se sont enrichies et un nouveau référentiel hydrogéologique, BDLISA, a été mis en place. Ces évolutions ont été prises en compte dans le processus de révision des contours des masses d'eau, initié en 2015 pour le bassin Seine-Normandie.

La définition des secteurs repose sur l'exploitation de la BDLISA et sur des informations concernant l'usage de l'eau à l'échelle du bassin Seine-Normandie afin de préciser quels aquifères sont exploités pour l'alimentation en eau potable, et quels réseaux de surveillance leur sont associés. Le résultat de la sectorisation en entités hydrogéologiques homogènes ouvre par ailleurs la voie à des approches complémentaires permettant de rendre compte, à une échelle plus fine encore, des contextes particuliers pouvant être rencontrés. Cela permet notamment d'envisager l'étude, sur un vaste territoire, des usages du sol, ou de la présence de sources de pollutions ponctuelles, passées ou actuelles...



Fiche de proposition d'ajustement.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

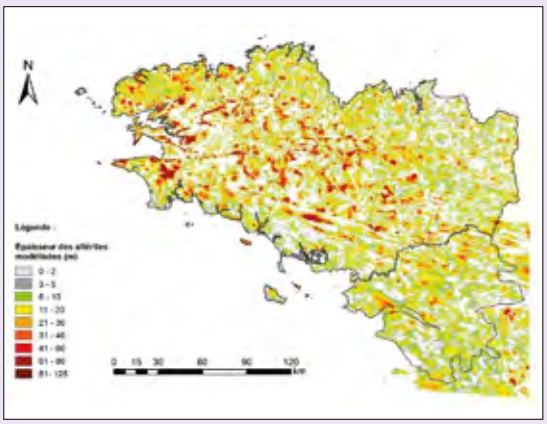
Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

MODÉLISATION GÉOLOGIQUE 3D : VERS UNE CARTOGRAPHIE PRÉDICTIVE DU RÉGOLITHE POUR LES APPLICATIONS DES GÉOSCIENCES

La connaissance des couches géologiques meubles de surface (régolithe) est essentielle pour les collectivités territoriales directement impactées par les enjeux sociétaux et économiques que représentent l'aménagement du territoire (caractérisation géotechnique des parcelles à aménager), le changement climatique, la gestion des ressources naturelles (eau, matériaux) et l'évaluation des risques (instabilités gravitaires, pollutions des sols).

Cette connaissance peut être aujourd'hui structurée au travers d'une modélisation géologique en trois dimensions permettant une mise en cohérence des données disponibles et un accès à une information continue, homogène et actualisable.

Les résultats obtenus (représentations spatiales des interfaces géologiques ou de l'épaisseur des dépôts), associés à des cartes de paramètres physiques (géotechniques, perméabilité) ou chimiques (teneurs en éléments, degré d'altérabilité), permettront de développer des outils appliqués, prédictifs et quantitatifs intégrant les connaissances et les contraintes géoscientifiques.

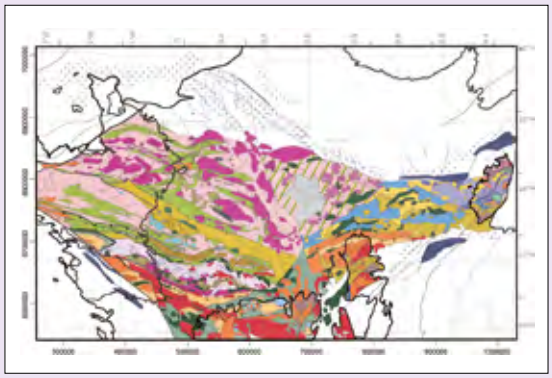


Carte de l'épaisseur modélisée des altérites pour la région Bretagne et le département de Loire Atlantique.
© BRGM

UNE NOUVELLE CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE DU SUBSTRATUM DU BASSIN DE PARIS OBTENUE À PARTIR DE DONNÉES GRAVIMÉTRIQUES ET AÉROMAGNÉTIQUES

S'appuyant sur les Banques de données nationales de Gravimétrie et de Géophysique aéroportée, la thèse soutenue en décembre 2016 par Julien BAPTISTE, co-encadrée par le BRGM et l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), a permis une refonte complète de la cartographie géologique d'une large moitié sud du substratum du Bassin de Paris. Au-delà de leur intérêt scientifique, révision notable de la structuration de la chaine Hercynienne d'Europe de l'Ouest et précision de la nature de la fameuse Anomalie Magnétique du Bassin de Paris, ces travaux fournissent une information utile, en particulier au secteur économique.

En effet, la connaissance des parties profondes des bassins sédimentaires intéresse tout particulièrement les acteurs de l'industrie du pétrole et du gaz qui, de façon croissante, investiguent les parties superficielles des roches du substratum sous les bassins, lesquelles se sont révélées d'excellents réservoirs sous certaines conditions. Dans certains pays, l'exploitation de ressources minières sous couverture sédimentaire est également mise en œuvre. Et, de façon croissante ces dernières années en France, l'investigation de cibles profondes pour le développement de la géothermie haute enthalpie requiert en phase amont une connaissance aussi précise que possible de la nature et de la structuration des socles sous couverture.

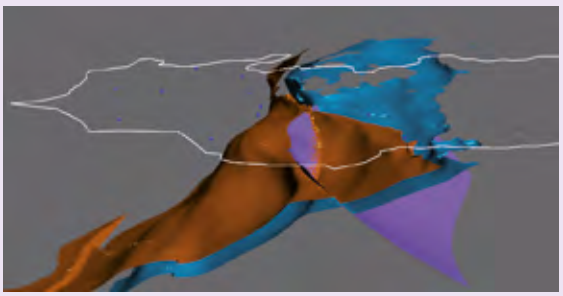


Carte du substratum anté-triasique du Bassin de Paris interprétée sur la base de couvertures géophysiques régionales.
© BRGM - ISTO

IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE DANS LES TERRAINS DU DÉVONIEN SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES ARDENNES RIVES DE MEUSE

Le Massif ardennais, par sa géologie complexe, génère de nombreuses difficultés dans la recherche de ressources en eau. Ainsi, certaines nappes de surface, et principalement la nappe alluviale de la Meuse, sont très exploitées, peuvent être parfois en proie à des conflits d'usage et sont extrêmement sensibles à des pollutions. Toutefois, il existe des formations en profondeur, qui par leur disposition et les contraintes qu'elles ont subies au cours des temps géologiques, sont susceptibles d'être des réservoirs volumineux et exploitables. C'est notamment le cas de deux formations géologiques situées au nord de la pointe des Ardennes : la formation des grès d'Anor et les calcaires du Givetien. Les géométries complexes (plissées et faillées) issues de la tectogenèse varisque impliquent que, si de l'eau disponible existe, elle ne l'est probablement qu'à plusieurs centaines de mètres de profondeur.

D'un point de vue sociétal, la pointe des Ardennes, ancienne région métallurgique, est aujourd'hui économiquement sinistrée et connait de grandes difficultés à se redynamiser.
C'est dans ce contexte géologique et économique que le président de la Communauté de communes Ardennes rives de Meuse a souhaité valoriser un éventuel potentiel lié à la ressource en eau profonde de la région de Givet, avec comme ambition première la réalisation d'un complexe thermal/casino, ou à défaut, d'une exploitation géothermique et d'autres alimentations en eau.
Il s'agit donc ici pour le BRGM d'établir une méthodologie afin de modéliser des réservoirs en milieu complexe. L'utilisation d'investigations géophysiques doit permettre de préciser la géométrie des structures en profondeur, d'affiner le modèle géologique et de mieux appréhender les travaux de reconnaissance ultérieurs. L'objectif final est, d'une part, de définir des zones où l'implantation de forages d'exploitation est possible et, d'autre part, de proposer une valorisation économique.

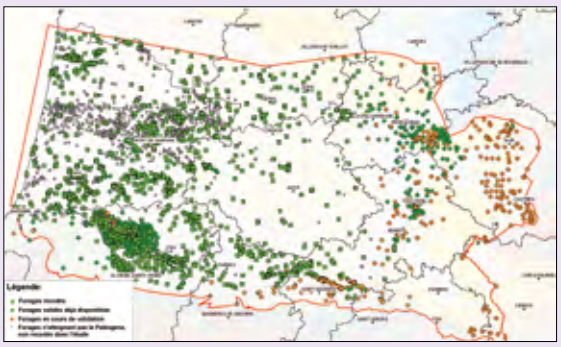


Modélisation 3D de la couche cible du secteur Vireux (Ardennes).
© BRGM - F. Lacquement

VALIDATION DE LOGS GÉOLOGIQUES DANS LE BASSIN D'AQUITAINE, AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ ET DE LA TRAÇABILITÉ DES DONNÉES MISES À DISPOSITION DU PUBLIC

Le projet LOGISO (pour LOGs validés et cartes ISOvaleurs) constitue l'un des projets-phares du Référentiel Géologique de la France (RGF). Il vise à codifier, harmoniser et valoriser les données de forages de la Banque de données du sous-sol (BSS) afin de produire, à la demande, des cartes isovaleurs (isohypses, isopaques, etc.).

À ce jour, la base de données utilisée est riche de près de 90 000 forages de référence, disponibles sur le portail InfoTerre et également consultables en version mobile via l'application i-InfoTerre. Les récents travaux de validation des logs géologiques en Nouvelle-Aquitaine illustrent une nouvelle dynamique renforçant la traçabilité des informations mises à disposition. Les lexiques stratigraphiques et l'interprétation des forages, révisés en s'appuyant sur des résultats récents, ont permis une revalidation de 1 500 forages.



Logs validés disponibles dans le sud du bassin d'Aquitaine.
© BRGM - G. Badinier

OBSERVATOIRES

Suivi de l'évolution du trait de côte à La Teste-de-Buch (Gironde, 2017).
© BRGM - Laurence Guillemain

Le BRGM, chargé de la capitalisation des connaissances sur le sous-sol, assure la collecte d'informations sur l'eau souterraine, le littoral et les sites et sols potentiellement pollués au travers de réseaux d'observation déployés à l'échelle nationale ou régionale.

En s'appuyant sur les implantations du BRGM en France métropolitaine et en Outre-mer, cette mission intègre le recueil, l'administration, la valorisation et la diffusion des données, ainsi que la maintenance et le suivi des réseaux de collecte.

26
OBSERVATOIRES ET RÉSEAUX DE SUIVI DU LITTORAL

30
OBSERVATOIRES DES MASSES D'EAU DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

32
OBSERVATOIRES DES SITES ET SOLS POLLUÉS

36
PROJETS REMARQUABLES

OBSERVATOIRES ET RÉSEAUX DE SUIVI DU LITTORAL

Ce programme s'inscrit dans le cadre de la "Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte", mise en place en mars 2012 par le Ministère chargé de l'Environnement, et de la connaissance des aléas littoraux.

Il a pour objectif principal le développement d'observatoires de suivi du littoral, en partenariat avec les services de l'État, les collectivités territoriales et il est plus particulièrement dédié au suivi de l'évolution du trait de côte. Le rôle du BRGM pour atteindre cet objectif consiste à mettre en place des méthodes et des outils de suivi puis à capitaliser les résultats dans des bases de données.
La connaissance acquise est organisée de façon à être partagée. Ces bases permettent de disposer des informations de référence nécessaires à la gestion et à l'aménagement de la bande littorale.

Les actions d'appui aux politiques publiques du BRGM visent en particulier à :

- accompagner le Ministère chargé de l'Environnement dans la création et l'organisation, à l'échelle nationale, d'un réseau d'observatoires du trait de côte ;
- fédérer des suivis du littoral pour améliorer les connaissances des risques côtiers, notamment dans les domaines suivants :

  / aléa érosion (y compris mouvements de terrain littoraux) et suivi du trait de côte ;

  / submersion marine (suivi des laisses de tempêtes[4], inondations, études historiques, etc.) ;

  / qualité des milieux côtiers, pollutions, forçages anthropiques[5], dans le cadre des plans POLMAR de la Directive-Cadre "Stratégie pour le Milieu Marin" (DCSMM) visant à identifier le"bon état écologique" (BEE) relatif à l'intégrité des fonds et de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE) pour l'identification du bon état hydro-morphologique des masses d'eau côtière.

STRATÉGIE NATIONALE DE GESTION INTÉGRÉE DU TRAIT DE CÔTE (SNGITC)

Dans le cadre de cette stratégie, le BRGM a poursuivi en 2016 son appui auprès du Ministère chargé de l'Environnement (DGALN/DEB), aux côtés du CEREMA, pour animer le réseau national des observatoires du trait de côte.

Faisant suite au séminaire du réseau national des observatoires du trait de côte qui s'était tenu le 28/09/2015, cet appui a principalement consisté à préparer la tenue d'un nouveau séminaire début 2017. Un projet de charte d'engagement des observatoires à ce réseau national a ainsi été proposé aux partenaires identifiés (observatoires locaux, réseaux de recherche), ainsi que la constitution d'ateliers de travail préfigurant les futurs axes du réseau.

Le BRGM a par ailleurs participé aux différentes instances de suivi de la stratégie nationale (SNGITC) animée par le Ministère chargé de l'Environnement.

OBSERVATOIRES RÉGIONAUX ET OPÉRATIONS DE SUIVI DU TRAIT DE CÔTE

Les réseaux de suivi et les mesures de terrain organisées de manière régulière et continue apportent une connaissance approfondie de l'évolution du trait de côte et plus généralement de la dynamique de la bande côtière. Cette compréhension permet la formulation d'expertises et de diagnostics sur l'état de santé du littoral, l'impact des tempêtes, les stocks sédimentaires, etc. ***(Fig.10)***. Cette connaissance permet également de proposer des solutions adaptées aux phénomènes étudiés (érosion, submersion marine, tsunami). En 2016, les suivis mis en œuvre par le BRGM se sont poursuivis en métropole sur le littoral de la Communauté de Communes Océan-Marais de Monts en Vendée, dans le cadre de l'Observatoire de la Côte Aquitaine, du "Réseau Tempête" de Languedoc-Roussillon, du Réseau d'Observation du Littoral en Corse, de l'Observatoire de la Côte Sableuse Catalane et en Outre-mer sur le littoral de La Réunion, de Guyane, de Martinique, de Guadeloupe et de Nouvelle-Calédonie.

[4] La laisse de tempête est l'accumulation par la mer de débris naturels (coquillages, algues, bois mort, os de seiche, etc.) ou d'origine anthropique, drossés à la limite du flot de tempête.

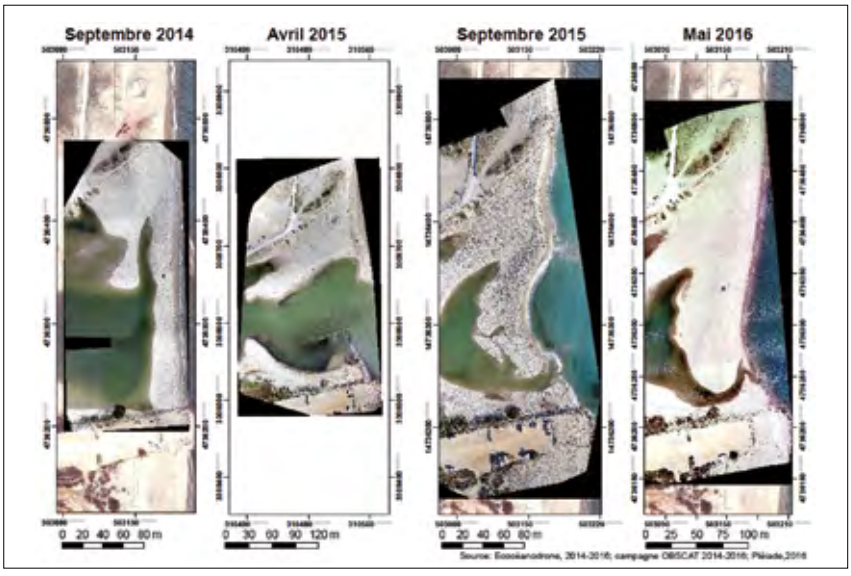
[5] Forçages anthropiques : actions anthropiques ayant pour effet de perturber les équilibres naturels.

Levés bathymétriques dans le cadre de l'Observatoire de la côte sableuse catalane en mer (à gauche), transect (en haut à droite), dans les embouchures (en bas à droite).

Suivi photographique aérien annuel sur l'Île aux Oiseaux, Bassin d'Arcachon. © ULMS et OCA

Observations sur estuaire et flèche sableuse, Ouaième, Nouvelle-Calédonie.

Mesure du trait de côte par DGPS, Observatoire de la dynamique côtière de Guyane.



Suivi par drone et images satellite Pléiade des évolutions saisonnières de la morphologie de l'embouchure de l'Agly (communes de Torreilles et du Barcarès) dans le cadre de l'Observatoire de la côte sableuse catalane.

Image prise par drone du littoral sinistré de Kourou, Observatoire de la dynamique côtière de Guyane.

Banquette de posidonie levée par le Réseau d'Observation du Littoral Corse, plage de Meria.

Observatoire de la Côte Aquitaine. © Com' by AVM et OCA

Levé bathymétrique scan laser, Carry-le-Rouet.

Suivi vidéo du lido de Sète, Marseillan.

Suivi de la plage La Perle par drone, Guadeloupe. © GeoScan3D.

Suivi de la plage La Perle, Guadeloupe.

Levé au sonar à balayage latéral, observatoire de la dynamique côtière de Guyane.

DIRECTIVE-CADRE "STRATÉGIE POUR LE MILIEU MARIN" (DCSMM)

Dans le cadre de la mise en œuvre nationale des différents volets de la DCSMM, pilotée par le Ministère chargé de l'Environnement (DGALN/DEB), l'année 2016 a permis au BRGM d'apporter sa compétence en géologie, sédimentologie et hydrodynamique. En 2016, le BRGM a été identifié comme :

- pilote scientifique de la thématique intégrité du fond ;
- coordinateur pour la mise en œuvre des sous-programmes (SP 8 à 15) "activités" du programme de surveillance des Habitats Benthiques et de l'Intégrité des Fonds marins (HBIF) ;
- opérateur pour la mise en œuvre du SP 9 : artificialisation du milieu marin.

Dans le cadre de son mandat de pilote scientifique pour l'intégrité des fonds, le BRGM a participé à la révision des travaux de la commission européenne publiés en 2010 pour le descripteur 6 relatif à l'intégrité des fonds marins. L'indicateur sur l'état physique des fonds marins décrivant l'étendue et la typologie de la perturbation au fond induite par les activités anthropiques a été maintenu. Pour répondre au besoin d'indicateurs du "bon état écologique", une méthodologie d'analyse et d'exploitation des données disponibles dans les études d'impacts associées aux activités réglementées d'extraction sélective, de dragage et d'immersion de matériaux

Fig. 10 - Exemple de mesures réalisées par le BRGM dans le cadre des observatoires ou des réseaux de suivi du littoral en 2016.
© BRGM

en mer a été développée. Elle permettra de traduire les données d'activités en données de pressions physiques. En termes de veille scientifique, le BRGM a apporté son expertise au projet du Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) "Sensibilité des habitats".

Dans le cadre de son mandat de coordinateur thématique, le BRGM a démontré l'intérêt de valoriser, pour la DCSMM, les études relatives aux autorisations d'exploitation. Enfin, en tant qu'opérateur du SP 9, le BRGM a estimé le taux d'artificialisation du trait de côte pour la sous-région marine Manche-Mer du Nord (MMN) à partir des sources de données DDTM, OCA et CEREMA.

Au travers de ces trois missions, le BRGM a apporté son expertise, à la demande, sur documents (Plan d'Actions pour le Milieu Marin, Objectifs Environnementaux, Programme de Mesure) et en participant aux réunions de comités de pilotage et groupes de travail. Il a apporté son appui à la DEB pour la préparation des réunions internationales. Il a participé à divers ateliers des conventions de mers régionales (OSPAR COBAM à Paris et Trondheim, Barcelone CORMON) et a pris en charge un e-group "Trait de côte" dans le cadre de la convention de Barcelone.

DIRECTIVE-CADRE SUR L'EAU (DCE)

Le BRGM apporte un appui à l'ONEMA (AFB depuis le 01/01/2017) pour la mise en œuvre de la DCE, notamment pour l'application du volet hydromorphologie des masses d'eau littorales pour lequel le BRGM développe depuis 2012 une méthodologie de la surveillance hydromorphologique des masses d'eau côtières. Faisant suite à l'évaluation des métriques de la surveillance pour les masses d'eau côtières en 2015, l'année 2016 a permis, à partir des résultats obtenus, de classer l'état hydromorphologique (en très bon état ou non très bon état) de l'ensemble des masses d'eau côtières de la façade Manche-Atlantique. Ces classements ont été effectués par bassin hydrographique à l'aide de groupes d'experts réunis pour l'occasion.

En parallèle, une partie de ces métriques a été évaluée en 2016 pour les masses d'eau de transition de cette même façade. Ces travaux se poursuivront en 2017 afin de classer l'état hydromorphologique de ces masses d'eau.

VALORISATIONS RÉALISÉES

Ablain M., Becker M., Benveniste J., Cazenave A., Champollion N., Ciccarelli S., Jevrejeva S., Le Cozannet G., Nicoletta L., Loisel H., Long N., Maisongrande P., Mallet C., Marta M., Menendez M., Meyssignac B., Plater A., Raucoules D., Andrea T., Vignudelli S., Emiliana V., Woodworth P., Woppelmann G., 2016.
White paper: Monitoring the evolution of coastal zones under various forcing factors using space-based observing systems. *International Space Science Institute (ISS).*

Balouin Y., 2016.
Video assessment of nearshore and beach evolution following the deployment of a submerged geotextile wave breaker. International Coastal Symposium 2016, Mar 2016, Sydney, Australia. In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research, Special Issue, Nº 75, Special Issue (Nº 75), 2016, Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia).*

Balouin, Y., 2016.
Effets du changement climatique sur le littoral. Colloque *"Journée mondiale des zones humides" du syndicat mixte Rivage, Le Barcarès, 02/02/2016.*

De La Torre Y., Belon R., Allouis T., Assenbaum M., 2016.
Experimental UAV Lidar Survey for morpho-sedimentary dynamics monitoring: application to French Catalan sandy coast. Littoral 2016 *"Littoraux en devenir - Anticipation et adaptation aux changements climatiques", Oct 2016, Biarritz, France.*

De La Torre Y., Guillen L. and Longueville F.
Monitoring coastal erosion in the French Caribbean : Regional surveys in French Guyana and Guadeloupe. *General Meeting of The Caribbean Academy of Sciences, Guadeloupe, November 2016.*

Garcin M., Vendé-Leclerc M., Robineau B., Maurizot P., Le Cozannet G., Nicolae-Lerma A. 2016.
Lagoon islets as indicators of recent environmental changes in the South Pacific - The New Caledonian example. *Continental Shelf Research, 122, 120-140.*

Nahon A., Marieu V., Idier N., Senechal N., Mugica J., Mallet C., 2016.
Swash bar effects on the response of a large barrier-spit terminus to extreme wave climate : the Cap Ferret example. International Coastal Symposium 2016, Mar 2016, Sydney, Australia. In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and Mc Carroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). *Journal of Coastal Research, Special Issue, No. 75, 2016, Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia).*

Palvadeau E. et Balouin Y., 2017.
L'érosion du littoral, causes et moyens de lutte. Exemples à l'échelle de l'Observatoire de la côte sableuse catalane. *Conférence publique des Rendez-vous Éco-citoyen du Conseil du développement durable de Perpignan Méditerranée Métropole, 16 mars 2017, Torreilles, France.*

Stépanian A., Thinon I., 2016.
Évaluation des stocks sédimentaires littoraux : prospection par sismique réflexion haute-résolution sur le littoral varois. *Journées Nationales de Génie Civil - Génie Côtier de Toulon 2016, Jun 2016, Toulon, France.*

OBSERVATOIRES DES MASSES D'EAU DES BASSINS HYDROGRAPHIQUES

Le Schéma National des Données sur l'Eau (SNDE) fixe les objectifs, le périmètre et les modalités de gouvernance du Système d'Information sur l'Eau (SIE). C'est dans ce cadre que sont développées les actions d'acquisition, de diffusion et de valorisation des données sur l'eau en France.

Fig. 11 - Réalisation d'un piézomètre de surveillance.
© BRGM - B. Mougin

RÉSEAUX DE SURVEILLANCE

Le réseau piézométrique national DCE, sous maitrise d'ouvrage du BRGM, a intégré en 2016 le réseau INSU OZCAR (Observatoires de la Zone Critique Applications et Recherche) impliquant un grand nombre de partenaires dont le CNRS, l'IRD, l'INRA, l'IRSTEA et l'ANDRA.

La France est en effet riche d'observatoires de la zone critique, constitués depuis plusieurs années via les organismes de recherche qui labellisent et soutiennent des services d'observation, des observatoires de recherche en environnement ou encore des zones ateliers. L'objectif d'OZCAR est de mettre en synergie ces différents observatoires dans une structure de plus large ampleur afin :

- de délivrer à la communauté scientifique et aux gestionnaires de la ressource des données fiabilisées et interopérables concernant le fonctionnement des hydrosystèmes et des écosystèmes ;
- de favoriser les échanges métrologiques et la confrontation des modèles dans le suivi et la compréhension d'objets environnementaux complexes ;
- et d'offrir des sites instrumentés et validés permettant aux divers opérateurs de mener des projets s'appuyant sur des données de grande qualité grâce à leur technique d'acquisition, processus de validation et longueur des chroniques.

Plusieurs réseaux ont en outre été mis en place récemment à des échelles locales dans le but de répondre à des objectifs :

- de connaissance et de surveillance pour la nappe du Val d'Orléans (Centre-Val de Loire), les nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur du bassin versant de l'Automne et de la Nonette (Hauts-

de-France), les nappes de la Drôme, ou le réseau de surveillance de l'intrusion marine en Basse-Crau (projet SIMBA, Provence-Alpes-Côte d'Azur), le réseau de suivi de la qualité des eaux des bassins versants de l'Horn et du Guillec (Bretagne) ;

- de gestion pour le réseau de suivi et d'avertissement en vue d'une gestion concertée des ressources en eau karstiques de l'hydrosystème de Thau (projet REAGIRE en Occitanie), pour le réseau d'observation et de prévention du dénoyage de l'Oligocène (projet RoDEO en Nouvelle-Aquitaine), pour le réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisée pour l'alimentation en eau potable dans le Maine-et-Loire ou encore pour le suivi de la qualité des eaux souterraines en aval des installations classées en Alsace.

Ces réseaux locaux sont mis en place suite à des études hydrogéologiques complètes permettant leur optimisation et l'évaluation de leur pertinence selon les objectifs assignés. Ces réseaux, ayant un objectif dédié spécifique, jouent donc un rôle essentiel dans la gestion de la ressource en eau puisque la donnée acquise est directement valorisée par les collectivités à l'initiative de cette surveillance.

Des traitements spécifiques de séries piézométriques ont été réalisés en 2016 ***(Fig.11)***, en Beauce, dans le but d'évaluer la significativité environnementale des tendances d'évolution des hauteurs d'eau. Pour la nappe des Calcaires de Beauce, sur de grands cycles pluriannuels (2 à 3 cycles sur une période de 40 à 50 ans), la mise en évidence d'une tendance est plus délicate. Le terme même de tendance est de plus discutable, du fait du relatif court suivi ne permettant pas de prendre en compte plus de deux cycles complets sur 40 à 50 ans de données. Les tests statistiques appliqués sur quinze séries piézométriques ont montré que, s'il est toujours possible de calculer une pente, celle-ci est induite en grande partie par la dissymétrie des cycles. Cette dissymétrie est déterminée par la dynamique de la nappe (dynamique lente à "effet mémoire", influencée par des prélèvements) et par une variabilité climatique, cependant que corréler les pentes calculées à une évolution dans le même sens et sur la même durée des prélèvements et/ou de la recharge de la nappe reste difficile.

DÉVELOPPEMENT D'INDICATEURS

Les données issues des observatoires de la qualité ou quantité des eaux souterraines répondent à la fois à des objectifs réglementaires (DCE), de connaissance (établissement de cartes piézométriques pour les synthèses hydrogéologiques par exemple) et d'information auprès d'un public averti ou amateur.

Pour le grand public et pour les gestionnaires de la ressource en eau, la mise à disposition des données brutes doit être complétée par le développement d'indicateurs pouvant répondre à des questions de gestion, d'alerte ou de connaissance. Cette étape indispensable peut être avantageusement complétée par une mise à disposition des indicateurs au travers des SIGES, de cartographies dédiées ou d'infographies.

Ainsi, des indicateurs sécheresse ont été utilisés depuis de nombreuses années en appui à l'application de divers dispositifs réglementaires. L'objectif de préservation de la ressource en eau en cas de sécheresse passe nécessairement par l'utilisation de seuils de déclenchement pertinents, fonction des débits ou de la piézométrie. Ils permettent de mettre en œuvre des mesures de restriction progressives et adaptées à la gravité de la situation. Ce cadre réglementaire invite donc à utiliser des seuils de référence prenant en considération, non seulement le bon fonctionnement des milieux aquatiques, mais également les critères d'usage. La déclinaison régionale de cette politique de préservation de la ressource en eau n'est donc pas effectuée sur des critères identiques. Ainsi, une étude a été réalisée en 2016 dans le Grand Est pour évaluer la pertinence des indicateurs sécheresse des nappes utilisées sur ces secteurs ainsi que leur possible amélioration. Le calcul d'un indicateur de résistance à la sécheresse a été réalisé en combinant trois critères : le temps de demi-décroissance des niveaux, l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) et la taille du système aquifère qui, avec l'épaisseur, détermine sa plus ou moins grande inertie. Cet indicateur complète de manière pertinente les outils de gestion de la ressource en situation de sécheresse.

L'indicateur piézométrique standardisé (IPS) permet de répondre au besoin d'évaluation de la situation quantitative de la ressource en eau souterraine et remplace, depuis janvier 2017, l'indicateur utilisé pour l'établissement du bulletin de situation hydrologique des nappes. Développé dans le cadre de la convention ONEMA-BRGM, l'IPS est en cohérence avec l'index standardisé des précipitations (SPI, Standard Precipitation Index) et l'index standardisé d'humidité du sol (SSWI, Standardized Soil Wetness Index) proposés par Météo-France. Les résultats numériques issus de l'analyse des chroniques complètent l'information apportée par l'IPS. La méthode a été testée sur plus de 200 chroniques piézométriques de longue durée (>30 ans), enregistrées sur différents types de nappe, et a montré l'intérêt de l'indicateur. L'IPS présente plusieurs avantages : il est applicable à toutes les nappes, l'échelle de valeurs étant commune, cela permet de les comparer entre elles, il permet de quantifier la sévérité d'un épisode de sécheresse (durée, intensité, magnitude) et il est utilisable comme indicateur d'état sur le long terme.

OBSERVATOIRES DES SITES ET SOLS POLLUÉS

Ce programme est organisé autour du développement et de la valorisation des observatoires capitalisant les données acquises sur les sols et sous-sols potentiellement contaminés par des activités industrielles (récentes ou passées).

Sont concernés : les sites industriels et les zones dégradées par les activités anthropiques, décrits par les bases de données BASIAS[6], IHR[7] et IHU[8], les Secteurs d'Information sur les Sols (SIS), les croisements de données entre les bases relatives aux sites industriels et aux captages AEP, à la surveillance de la qualité des eaux souterraines en lien avec les activités industrielles (ICSP[9], ADES) et la qualité des sols (sols urbains, via le projet ETS[10]), aux indices miniers et aux exploitations minières et à la présence de zones naturelles amiantifères.

ÉTAT D'AVANCEMENT DES INVENTAIRES HISTORIQUES RÉGIONAUX (IHR) ET URBAINS (IHU)

La mise en place des IHR et la conservation des résultats de ces inventaires dans BASIAS (http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inventaire-historique-des-sites-industriels-et-activites-en-service-basias) visent à faire connaître les lieux où des activités potentiellement polluantes auraient éventuellement pu laisser des polluants dans les terrains concernés.

L'actualisation de l'Inventaire Historique Régional (IHR) de Rhône-Alpes est en cours de finalisation par intégration des retours de l'enquête auprès des mairies.

La fin du programme de réalisation des IHR permet désormais de se consacrer, au plan national, à l'enrichissement et la mise à jour continue de BASIAS, en particulier via le développement des échanges de données avec les administrations et les communes apportés par les Inventaires Historiques Urbains (IHU) permettant notamment d'améliorer la pertinence de la démarche sur les établissements sensibles, et le croisement de données en général ***(Fig.12)***.

Les IHU ont été mis en place à la demande de certaines agglomérations afin de répondre aux besoins exprimés de disposer d'un outil plus précis que l'inventaire départemental (IHR) en termes d'exhaustivité des sites inventoriés et de leur repérage à l'échelle du parcellaire cadastral.

BASIAS, intégré depuis 2015 à la plateforme publique GéoRisques (www.georisques.gouv.fr) est le site de référence pour accéder aux données géographiques sur les risques naturels et technologiques en France.

Ce portail a vocation à faciliter l'accès aux données sur les risques pour le grand public et constituer pour l'usager le point unique d'information sur les risques.

LES FONDS PÉDO-GÉOCHIMIQUES DE LA QUALITÉ DES SOLS

Comme de nombreux pays, la France a mis en place une méthodologie en matière de sites et sols potentiellement pollués basée

***Fig. 12** - Carte d'avancement des IHR conservés dans BASIAS (en date du 05/07/2016).*
© BRGM

[6] BASIAS : La Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Service recense des sites industriels potentiellement pollués/polluants, qu'ils soient encore en activité ou pas.

[7] IHR : Inventaire Historique Régional de sites industriels localisés à l'échelle du 1/25 000.

[8] IHU : Inventaire Historique Urbain de sites industriels localisés à l'échelle cadastrale.

[9] Installations Classées (IC) soumises à auto-surveillance des eaux souterraines au droit du site et Site Pollué (SP) soumis à un suivi règlementaire.

[10] Diagnostics sur les lieux accueillant les enfants et les adolescents (écoles, lycées,...) sur la base des établissements dits sensibles (ETS) localisés au droit ou en contiguïté d'anciens sites industriels.

sur la prévention et, pour les pollutions passées, sur la gestion des risques en fonction de l'usage. Toutefois, l'État ne s'est pas doté de valeurs guides réglementaires concernant la qualité des sols (potentiellement) pollués. Ainsi, en cas de suspicion de pollution, la démarche française privilégie la comparaison de l'état du sol considéré à celui des sols "sains" voisins de la zone d'investigation. Il s'agit donc de distinguer le fond géochimique "naturel", et notamment les anomalies géochimiques locales, des contaminations ou des pollutions attribuables aux activités anthropiques. Ce principe est posé très clairement par les textes de 2007 du Ministère de l'Environnement présentant la méthodologie nationale de gestion des sols (potentiellement) pollués (texte en cours de révision).

En parallèle, la démarche de gestion des terres excavées en vigueur considère qu'une terre est exempte de pollution dès lors que ses caractéristiques sont cohérentes avec le fond géochimique naturel local. Ainsi, un sol peut être considéré sans danger pour les populations lorsqu'il est conforme à son état naturel initial et lorsqu'il est conforme à l'état d'un sol dont il est admis qu'il ne pose pas de problème particulier pour l'usage envisagé. Il est cependant indispensable de prendre en compte d'éventuelles hétérogénéités naturelles locales de la qualité des sols.

Depuis 2010, l'ADEME et le BRGM se sont intéressés à déterminer les teneurs habituellement rencontrées pour les principales substances minérales et organiques présentes dans les sols des parcs et jardins publics des agglomérations françaises.

La collection d'analyses de sols urbains obtenue doit être enrichie et complétée pour répondre aux besoins de connaissance de la qualité des sols, de référentiels et de fonds géochimiques urbains (FGU) dans différents contextes (diagnostics de sols, gestion des terres excavées,...). Le BRGM a donc procédé à la refonte de sa base de données, BDSolU (Base de données des analyses de sols urbains, http://www.bdsolu.fr/) qui permettra la bancarisation et la description d'un nombre accru de données, recueillies dans des conditions et selon des protocoles variés. Dans ce cadre, le BRGM propose depuis 2015 un accompagnement technique aux agglomérations intéressées par la connaissance de la qualité des sols de leur territoire. Ce projet FGU est associé à des projets de recherche (Matrice et Géobapa) ayant pour objectifs la bancarisation d'analyses de sols.

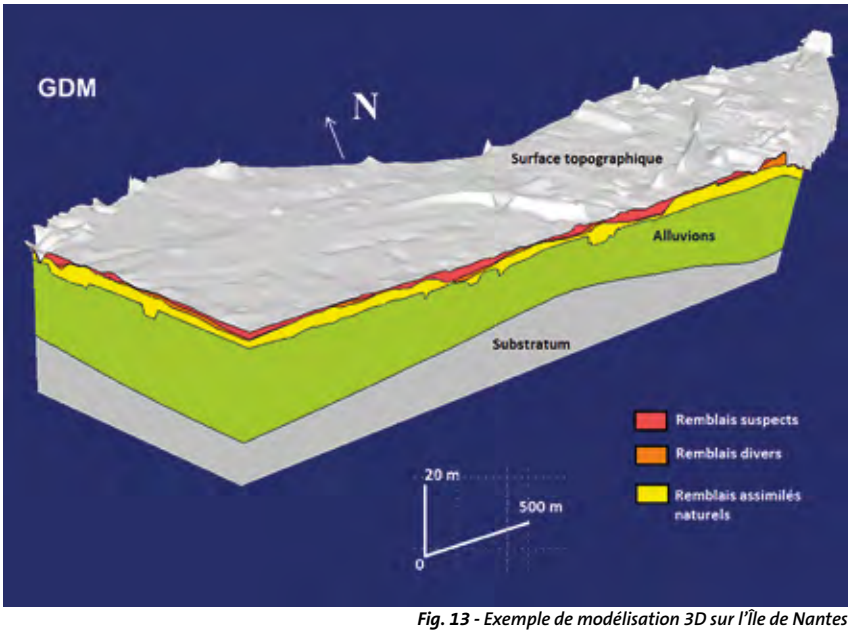


Fig. 13 - Exemple de modélisation 3D sur l'Île de Nantes
© BRGM

Ces travaux ont aussi permis de mettre en évidence plusieurs questions méthodologiques pour lesquelles l'ADEME a décidé de mettre en place un groupe de travail dit "Bruit de fond". Son objectif est d'établir, d'ici 2017, un guide des bonnes pratiques dans le domaine.

Un protocole d'analyse statistique tenant compte des caractéristiques des données du projet FGU a été mis au point. Il sera intégré dans le Guide du groupe de travail "Valeurs de fond".

LA DÉCLINAISON DES ÉTUDES IHU, FGU ET GESTION DES TERRES EXCAVÉES

En complément à la réalisation d'un Inventaire Historique Urbain (IHU) sur l'occupation historique des sols, l'assistance technique du BRGM a été sollicitée, dans le cadre de la réalisation de projets de réhabilitation/réaménagement d'envergure de certains secteurs urbains, afin d'appréhender les caractéristiques physico-chimiques des sols concernés, de manière à anticiper et optimiser la gestion des matériaux au regard de la qualité des sols et des aménagements envisagés. Le BRGM intervient ainsi en particulier sur trois régions françaises :

- Zone Euroméditerranée II, près du Vieux-Port de Marseille : L'Établissement Public d'Aménagement Euroméditerranée (EPAEM) mène des opérations de rénovation urbaine de la zone Euroméditerranée II (169 ha, situés à proximité du Vieux-Port en prolongement nord de la zone Euroméditerranée I, en cours de réaménagement). Ces travaux vont générer la production d'environ 2 millions de m^3 de déblais. Le BRGM a formulé des propositions de réemploi des terres excavées en fonction des résultats de l'analyse des sols et des modalités de gestion de la plateforme de valorisation des terres excavées.
- Aménagement de l'Île de Nantes : La Société d'Aménagement de la Métropole Ouest Atlantique (SAMOA) a sollicité l'appui du BRGM afin d'établir une stratégie de gestion des terres excavées dans le cadre de l'aménagement de l'Île de Nantes (337 ha), dont le programme s'étale sur 30 ans (2000-2030). La détermination d'un Fond Géochimique et la réalisation de l'Inventaire Historique Urbain de l'Île sont en cours de finalisation ***(Fig.13)***.

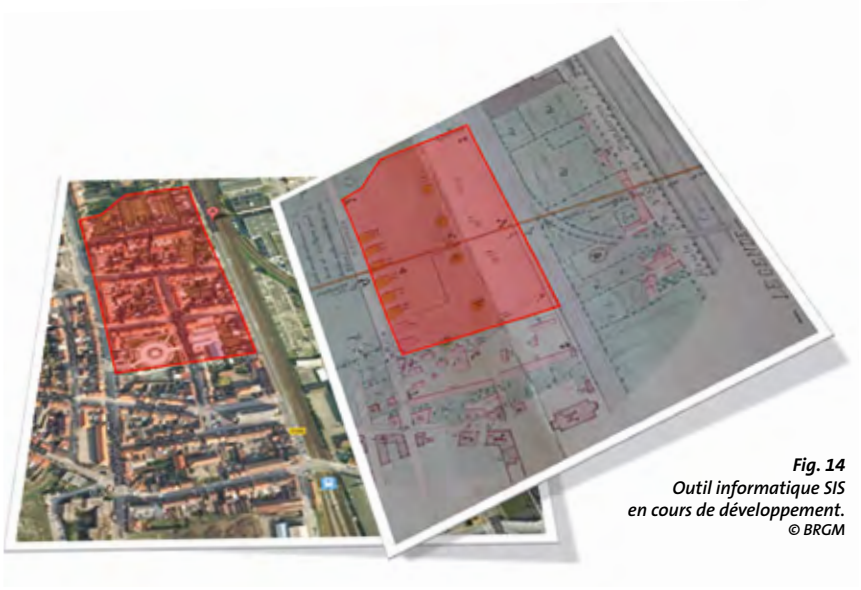


Fig. 14
Outil informatique SIS en cours de développement.
© BRGM

- Ancien site sidérurgique en Lorraine : Le BRGM a apporté son assistance technique à l'Établissement Public Foncier de Lorraine (EPFL), responsable du pré-aménagement du site dans le cadre d'une réflexion sur la faisabilité de la mise en place d'une plateforme de gestion et valorisation des terres excavées. Le BRGM a notamment réalisé une modélisation 3D des différentes catégories de sols.

LES FRICHES URBAINES

Le BRGM s'attache à développer des outils et des méthodes pour accompagner les maîtres d'ouvrage dans leur réflexion sur l'aménagement du territoire et notamment sur les stratégies de reconquête des terrains dégradés.

Le BRGM est ainsi intervenu en appui à la DREAL Grand Est pour développer un outil de priorisation des friches à destination des acteurs du réaménagement. Il est en effet nécessaire de mettre en œuvre, sur le territoire, une stratégie structurée permettant d'appuyer le choix des friches industrielles potentiellement polluées à réaménager et à réhabiliter en priorité en fonction d'un certain nombre de critères, notamment les enjeux environnementaux associés aux sites. Le prototype d'outil proposé par le BRGM vise à répondre à ce besoin.

INFORMATION DU PUBLIC SUR LES RISQUES DE POLLUTION DES SOLS (LOI ALUR) : LES SECTEURS D'INFORMATION SUR LES SOLS (SIS) ET CASIAS

Le décret n° 2015-1353 du 26 octobre 2015 précise les modalités de mise en œuvre et les obligations réglementaires liées aux Secteurs d'Information sur les Sols (SIS) introduits à l'article L.125-6 du code de l'environnement par la loi Alur. Définis comme "les terrains où la connaissance de la pollution des sols justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution pour préserver la sécurité, la santé ou la salubrité publique et l'environnement", les SIS permettent d'anticiper la gestion des sites pollués en vue d'une reconversion. À ce titre, ils devront être intégrés dans les documents d'urbanisme et les instructions de permis.

En 2016, le BRGM a réalisé pour la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère chargé de l'Environnement un outil qui permet à l'administration détentrice de données sur les pollutions des sols, de saisir et cartographier en ligne les SIS à l'échelle du parcellaire et de réaliser ainsi des cartes et fiches pour consultation des mairies concernées avant publication dans le portail http://www.georisques.gouv.fr.

Le BRGM a également un rôle d'assistance

technique et de formation du personnel de l'administration affecté à l'outil SIS et développe les évolutions nécessaires suite aux retours d'expérience.

Conformément à l'article L.125-6 du code de l'environnement, la carte des anciens sites industriels et activités de services (CASIAS) vient compléter l'ensemble des éléments d'information mis à disposition du public en matière d'information sur la pollution des sols. Tout certificat d'urbanisme devra en effet indiquer si le terrain est situé sur un site répertorié sur cette carte, ou sur un ancien site industriel dont le service instructeur du certificat d'urbanisme a connaissance.

De la même façon que pour les SIS, le BRGM a engagé le développement d'une application qui a pour objectif la saisie et la mise à jour de la base des anciens sites industriels et activités de service en vue d'une utilisation de telles cartographies par les mairies et les notaires ***(Fig.14)***.

L'AMIANTE ENVIRONNEMENTAL

Répondre aux enjeux de santé posés par les pathologies en lien avec l'environnement constitue un axe majeur du 3ème Plan national Santé Environnement (PNSE3, 2015 - 2019). L'une des actions engagées dans le PNSE3 vise à "poursuivre et exploiter la cartographie des zones amiantifères sur les zones à risque, afin de réduire les expositions liées aux affleurements naturels d'amiante".

Dans l'environnement naturel, de nombreuses roches sont caractérisées par la présence dans leur minéralogie de serpentines et/ou d'amphiboles. Ces roches sont donc susceptibles de contenir également des formes dérivées fibreuses et pathogènes de ces minéraux. Au-delà d'une composition chimique favorable, d'autres paramètres sont déterminants dans les processus de cristallisation de minéraux fibreux dans les roches. Ainsi, les zones correspondant à des domaines géologiques très déformés et/ou caractérisés par des circulations importantes de fluides constituent des environnements favorables à la cristallisation de minéraux amiantifères.

Le BRGM intervient, en appui au Ministère chargé de l'Environnement, pour la prévention des risques liés à l'exposition des populations à l'amiante environnemental naturel. Les travaux d'ores et déjà réalisés ont permis la réalisation et la diffusion de cartes des zones amiantifères pour plusieurs départements de la chaîne alpine, du Massif armoricain et de la chaîne des Pyrénées. Ces cartes sont disponibles sur le site du BRGM (http ://infoterre.brgm.fr/).

Les travaux se poursuivent en 2016-2017 sur les départements du Massif central.

RUBRIQUE "SITES ET SOLS POLLUÉS" DU SITE INTERNET DU MINISTÈRE CHARGÉ DE L'ENVIRONNEMENT

Le BRGM a poursuivi sa mission de diffusion des connaissances sur les sites et sols pollués au travers du site internet du Ministère chargé de l'Environnement, dans la rubrique "Politique publique / Risques technologiques / Installations classées pour l'environnement / Sites sols et pollués" (https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites-et-sols-pollues).

Cette rubrique "Sites et sols pollués" est maintenue par le BRGM avec l'appui de la DGPR et de sa direction de la Communication (DICOM) et en collaboration avec l'ADEME, l'INERIS, l'IRSN et l'IFFO-RME. Elle constitue le moyen officiel de diffusion de la méthodologie nationale et de la documentation recommandée par le ministère en matière de gestion des sites pollués. De plus, elle propose une adresse de messagerie (sitespollues@brgm.fr) qui permet de recueillir les questions des internautes et d'y répondre. Le site Internet du Ministère a, en parallèle, été l'objet d'une restructuration au cours de 2016.

VALORISATIONS RÉALISÉES

Qualité chimique des sols, les acteurs des chantiers urbains se mobilisent, **JF. Brunet** (BRGM) *SOLSCOPEMAG, Avril 2016.*

À la recherche des teneurs habituelles des principales substances minérales et organiques présentes dans les sols urbains, **JF. Brunet** (BRGM) et **H. Roussel** (ADEME), *Environnement et Technique, n° 365, Janvier 2017.*

Informer sur la pollution des sols pour anticiper la gestion des terrains pollués à l'échelle du territoire, **Mathilde Scamps** (BRGM), *Environnement et technique, Hors-série Sites et sols pollués, Les professionnels s'emparent de la loi Alur, Mars 2016.*

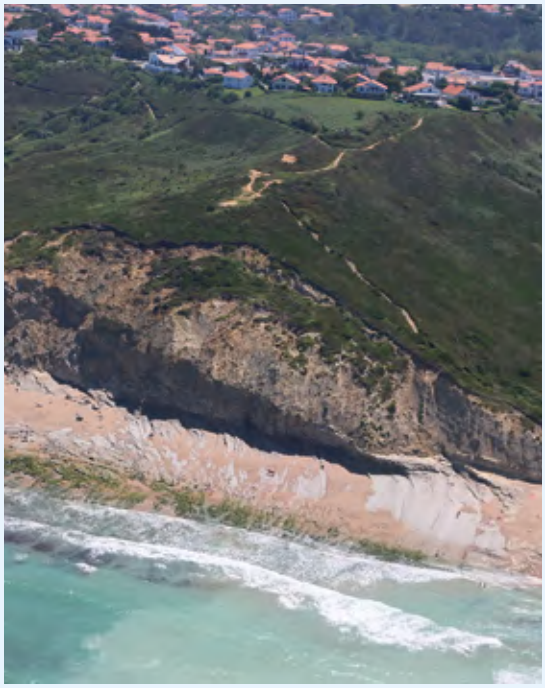
PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

ACTUALISATION DE L'ALÉA RECUL DU TRAIT DE CÔTE SUR LE LITTORAL DE LA CÔTE AQUITAINE AUX HORIZONS 2025 ET 2050

Afin de prendre en compte les événements de tempêtes récents ainsi que l'amélioration des connaissances, issue notamment de la mise en place de stratégies locales de gestion de la bande côtière, les membres de l'Observatoire de la Côte Aquitaine et le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Littoral Aquitain ont décidé d'actualiser la caractérisation de l'aléa recul du trait de côte en Aquitaine, défini initialement en 2011.

Sur la base méthodologique de la première étude, ce travail vise à actualiser les taux moyens de recul annuel et les projections d'érosion du littoral aquitain depuis l'estuaire de la Gironde au nord, jusqu'à la Bidassoa au sud. Il distingue les différents environnements côtiers aquitains et étudie leur évolution aux horizons 2025 et 2050, dans un souci de cohérence avec les démarches d'évaluation des risques littoraux entreprises à différentes échelles territoriales.



Vue aérienne et mouvement de terrain affectant la falaise d'Erretegia, commune de Bidart (Pyrénées-Atlantiques).
© OCA

VULNÉRABILITÉ DU LITTORAL DE SAINT-PIERRE-ET-MIQUELON FACE AUX RISQUES DE RECUL DU TRAIT DE CÔTE ET DE SUBMERSION MARINE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET D'OCCURRENCE POSSIBLE DE TSUNAMI

Dans le Nord-Ouest Atlantique, le territoire de Saint-Pierre et Miquelon est exposé aux aléas météo-marins et subit les impacts des dépressions subarctiques aussi bien que des cyclones remontant la côte nord-américaine (ex : Sandy en 2012). Il est également exposé à des tsunamis d'origine sismique ou gravitaire (marge des Grands-Bancs au large de Terre-Neuve, effondrements volcaniques en provenance des îles de l'Atlantique Est).

Dans ce contexte, le littoral de l'archipel, d'environ 200 km, est soumis d'une part, à un recul du trait de côte qui affecte les côtes rocheuses et sédimentaires et d'autre part, à des phénomènes de submersion marine dans les zones basses où est implantée la population (Saint-Pierre, Miquelon et hameau de Langlade).

Le projet "VULIT-SPM" vise à caractériser la vulnérabilité du littoral de Saint-Pierre et Miquelon aux aléas de recul du trait de côte et de submersion marine dans un contexte de changement climatique et d'occurrence possible tsunami. Dans un premier temps, les aléas recul du trait de côte et submersions marines d'origine météorologique sont cartographiés. Ces travaux prennent en compte la démarche mise en œuvre par l'État de plans de prévention des risques (PPR) sur l'archipel.

Modèle Numérique de Terrain de Saint-Pierre et de l'Île aux Marins utilisé pour caractériser les submersions marines.
© BRGM, d'après IGN et DTAM.

RÉSEAU DE SUIVI DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE UTILISÉES POUR LA PRODUCTION D'EAU POTABLE EN MAINE-ET-LOIRE

Le Département du Maine-et-Loire et le BRGM se sont associés pour mener un projet visant à obtenir une vision synthétique et régulièrement actualisée de l'état des ressources en eau souterraine au droit des sites de prélèvements pour l'usage Eau potable tout en favorisant les échanges entre les parties prenantes grâce à une base de connaissances commune et homogène.

Le réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisées pour la production d'eau potable (Réseau AEP49) est opérationnel depuis 2012. Le BRGM a été chargé de sa gestion par les membres du Comité de Pilotage qui regroupe le Conseil départemental, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (AELB), l'Agence régionale de la Santé (ARS) et la Direction Départementale des Territoires (DDT).

Cet outil s'appuie sur les suivis réalisés par les exploitants au niveau des ouvrages de production ainsi que sur les suivis piézométriques patrimoniaux (réseau DCE).

Il fonctionne grâce à la synergie des services concernés à l'échelle du département (Département, DDT, ARS, AELB), des mairies, des syndicats d'eau et des exploitants. L'enrichissement continu des données historiques permet d'analyser de façon de plus en plus pertinente l'état des ressources en eau souterraine sollicitées pour l'approvisionnement en eau potable et d'anticiper les évolutions possibles des conditions d'exploitation, permettant en particulier une adaptation optimale au changement climatique.

Ce réseau, de par son mode de fonctionnement et les outils qui lui sont associés, constitue un exemple innovant de collaboration entre les exploitants, les collectivités et les services de l'État, transposable à d'autres territoires.

Visite de diagnostic d'un ouvrage de prélèvement 2017.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

STRATÉGIE DE RECONVERSION DES FRICHES INDUSTRIELLES POTENTIELLEMENT POLLUÉES SUR LE TERRITOIRE ALSACIEN : UN OUTIL POUR HIÉRARCHISER LES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET ORIENTER LES CHOIX D'AMÉNAGEMENT DURABLE SUR LE TERRITOIRE DU HAUT-RHIN

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

Le BRGM développe des outils pour accompagner les maîtres d'ouvrage dans l'aménagement durable du territoire et la réhabilitation des friches urbaines. Dans le cadre du projet "Priorisation Friches Alsace", la DREAL Grand Est a fait appel au BRGM pour l'accompagner dans sa mission de reconquête des territoires dégradés.

Pour répondre à ce besoin, le BRGM développe un outil d'évaluation et de priorisation des friches industrielles (actuelles et en devenir) potentiellement polluées pour les acteurs du territoire alsacien.

Un premier prototype, développé par le BRGM, a été testé en 2016 sur le territoire pilote du Haut-Rhin à partir de la base de données "Friches 68", constituée en partie par une extraction de la base de données "Observatoire des Friches du Haut-Rhin", pilotée par la Direction Départementale des Territoires du Haut-Rhin (DDT68).

Friche industrielle étudiée dans le cadre du test pilote et cataloguée dans la base de données "Friches 68".
© DDT du Haut-Rhin (Observatoire des friches du Haut-Rhin).

ÉVALUATION DE LA REPRÉSENTATIVITÉ DES RÉSEAUX DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN ARTOIS-PICARDIE

Les réseaux actuels de surveillance de la qualité des eaux souterraines ont été mis en place en 2007-2008 à la suite du premier état des lieux du premier cycle de gestion de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE). Le projet a pour objectif d'évaluer la représentativité des réseaux de surveillance du bassin Artois-Picardie et d'identifier les éventuels points d'évolution pour une amélioration de la surveillance des eaux souterraines en se basant sur la méthodologie nationale développée en 2013.

Pour répondre à la question de la représentativité des points des réseaux de contrôle de surveillance (RCS), l'étude consiste à dresser un état des connaissances hydrogéologiques du fonctionnement de chaque masse d'eau souterraine ainsi que des pressions anthropiques qui s'exercent sur cette même masse d'eau. Cet état des lieux permet d'identifier les "caractéristiques" de la masse d'eau souterraine qui feront l'objet de "requêtes".

Contextes anthropiques révélés par les qualitomètres sur le bassin Artois-Picardie.

MODÈLE CONCEPTUEL DE REMONTÉE DE NAPPE À L'ÉCHELLE DE L'AGGLOMÉRATION DE TROYES

L'agglomération troyenne a connu de nombreuses inondations liées à des crues de la Seine dont la dernière remonte à mai 2013. Afin de mettre en place une stratégie de gestion intégrée des risques inondations au travers de la mise en œuvre d'un PAPI (Programme d'Action de Prévention des Inondations), l'agglomération du Grand Troyes s'est appuyée sur le BRGM pour étudier, à l'échelle de l'agglomération, les mécanismes d'inondation par remontées de nappe lors de crues de la Seine.

Les travaux réalisés ont permis de définir un modèle conceptuel des phénomènes régulant ces remontées de nappe. Dans un contexte hydrogéologique complexe, elles semblent dues à la propagation des ondes de crues au sein des alluvions de la Seine, très transmissives et pouvant être, dans certains cas, captives. Aussi un réseau piézométrique a-t-il été mis en place pour suivre ces alluvions dans l'objectif de permettre, à terme, une prévision des inondations.

Occupation du sol et zones inondées par remontée de nappe à Troyes.

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

CARACTÉRISATION DU RISQUE DE POLLUTION INDUSTRIELLE DES CAPTAGES D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE EN RÉGION AQUITAINE

Ce projet vise à constituer un outil géomatique d'aide à la décision pour proposer un indicateur définissant une notion de risque de contamination des captages d'alimentation en eau potable (AEP) d'Aquitaine par des pollutions potentiellement émises par les activités industrielles voisines.

La première phase du projet avait permis de caractériser la vulnérabilité des 1 548 captages AEP d'Aquitaine, en fonction de leur vulnérabilité intrinsèque (selon leur environnement hydrogéologique) et de la présence d'au moins un site BASIAS dans leur enveloppe de vulnérabilité. À l'issue de cette première phase, 292 captages AEP étaient considérés comme exposés aux sites BASIAS.

La phase 2 a permis de s'intéresser aux émissions polluantes potentielles des sites BASIAS afin de définir un ordonnancement des risques de pollution sur les captages AEP. La démarche s'est appuyée sur la matrice "Activités-Polluants" mettant en relation les activités industrielles avec les molécules potentiellement émises d'après les observations de la base de données ADES. Des indicateurs de mobilité et de toxicité ont ensuite été définis pour chacune des molécules de la matrice, afin de définir, par captage AEP, un indicateur unique. Une base de données, interrogeable à l'aide d'une application sous Access, a été élaborée pour recueillir ces résultats. Une troisième phase permettra d'étendre l'étude à la Nouvelle Aquitaine et de pérenniser la base de données grâce au développement d'un outil web accessible, en accès restreint, depuis le SIGES Aquitaine.

BASIAS : Base des anciens sites industriels et activités de service.
ADES : Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines.

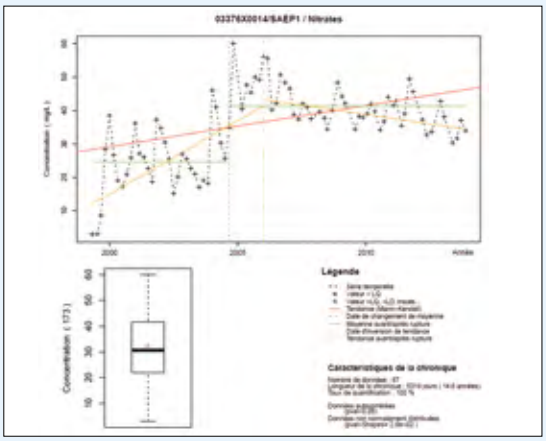
Page d'accueil de l'application Access développée pour l'interrogation de la base de données.
© BRGM

MÉTHODES DE DÉCOMPOSITION DES CHRONIQUES D'ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES : QUELLE UTILISATION POUR AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DES MESURES DE GESTION ?

Afin d'aider les gestionnaires de la qualité des eaux souterraines dans leurs travaux de surveillance, l'outil d'identification des tendances et des inversions de tendances, HYPE, a été développé conjointement avec l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et mis à disposition des gestionnaires en 2013.

Les développements récents, et en particulier la décomposition des séries temporelles, permettent d'identifier et extraire la part du signal correspondant à l'incertitude analytique et d'échantillonnage, celle attribuable aux variations environnementales et celle imputable à l'évolution des activités anthropogéniques. Ces informations prennent une grande importance lors de la définition des plans de mesure car elles permettent d'estimer l'impact qui peut être espéré à court terme sur la qualité de la ressource en réponse à des actions menées sur les émissions de polluants en entrée des systèmes hydrogéologiques.

Pour l'étude, des méthodes statistiques ont été recherchées dans le domaine de l'environnement en général. Elles ont été appliquées sur des données réelles de surveillance de la qualité des eaux souterraines afin d'en dégager les avantages et les inconvénients. La mise en œuvre des tests d'application a permis d'orienter le choix des méthodes à utiliser en proposant un arbre de décision qui établit une procédure pas à pas pour décomposer des chroniques d'évolution des concentrations en éléments dans les eaux souterraines.



Exemple de sortie graphique fournie par le module "Caractérisation" de l'outil HYPE appliqué à une chronique d'évolution des nitrates dans les eaux souterraines.
© BRGM

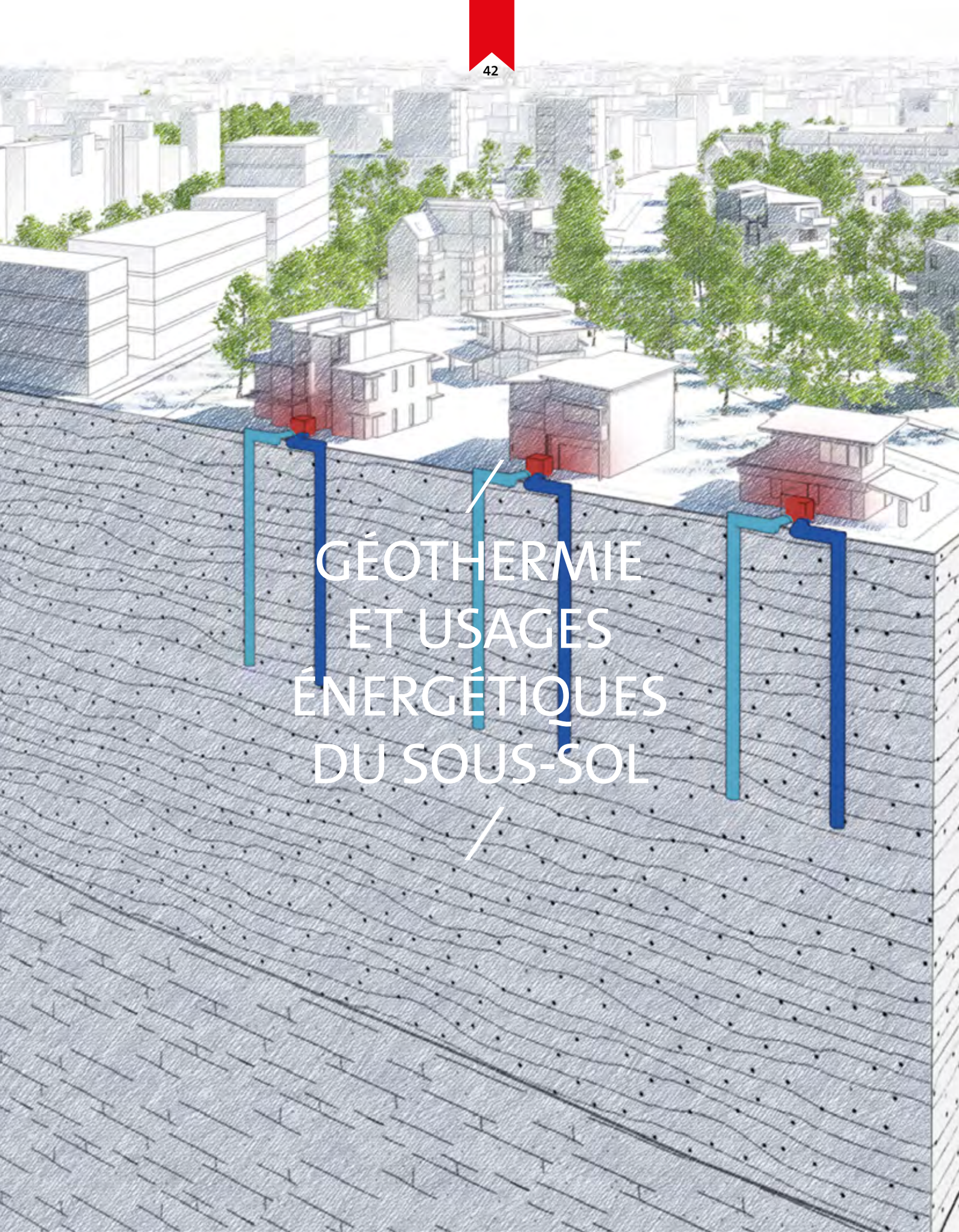
L'OBSERVATOIRE DE CÔTE SABLEUSE CATALANE (OBSCAT) : UN OUTIL D'AIDE À LA GESTION DES PHÉNOMÈNES D'ÉROSION CÔTIÈRE ET DE SUBMERSION MARINE DE LA BORDURE LITTORALE DE LA PLAINE DU ROUSSILLON

Située dans le Golfe du Lion, la côte sableuse catalane est une unité hydrosédimentaire de 44 km orientée nord-sud, s'étendant de la plage du Racou (commune d'Argelès-sur-Mer) au cap Leucate et constituant la bordure littorale de la plaine du Roussillon. À la fois basse et très aménagée, cette côte est fortement vulnérable aux tempêtes marines et aux aléas associés d'érosion côtière et de submersion marine.

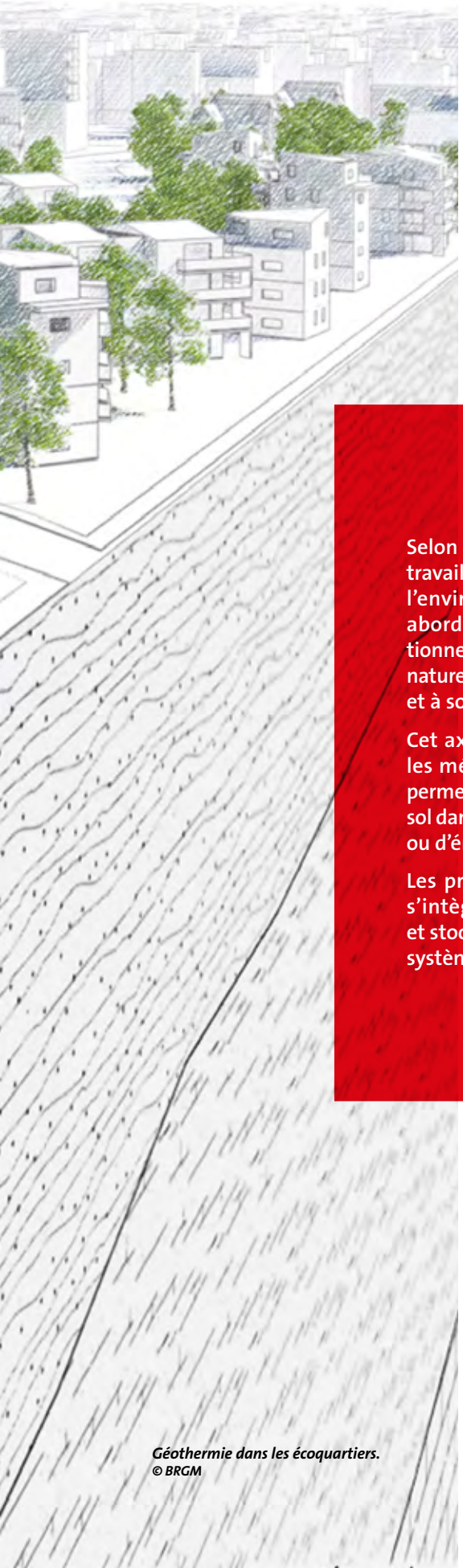
Dans ce contexte, la Communauté urbaine de Perpignan Méditerranée Métropole (PMM), dont les 4 communes côtières (Le Barcarès, Torreilles, Sainte-Marie-la-Mer et Canet-en-Roussillon) couvrent 23 km de ce linéaire, a initié, avec le soutien de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, une démarche de suivi afin de mieux comprendre la dynamique côtière en action et entreprendre une gestion cohérente et intégrée de son territoire littoral.

Un bilan des actions conduites par l'Observatoire (dont l'existence a été renouvelée jusqu'en 2019) entre 2013 et 2016 est aujourd'hui réalisé.

Partie sud de Port-Barcarès montrant le volume de sable important stocké sur la plage émergée en 2013, utilisé lors des travaux au Nord du port.
© OBSCAT (07/10/2013)



GÉOTHERMIE ET USAGES ÉNERGÉTIQUES DU SOUS-SOL



Géothermie dans les écoquartiers.
© BRGM

Selon une démarche emboîtant les échelles de travail depuis celle de la région jusqu'à celle de l'environnement immédiat du puits, cet axe aborde les réservoirs géothermiques conventionnels dont la perméabilité et la transmissivité naturelles permettent un accès aisé à la ressource et à son exploitation directe.

Cet axe a également pour objectif de préciser les mécanismes, les modèles et les méthodes permettant de décrire le comportement du sous-sol dans le cadre d'un stockage géologique de gaz ou d'énergie.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans le programme "Géothermie et stockage d'énergie thermique dans les hydrosystèmes".

44
GÉOTHERMIE ET STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE DANS LES HYDROSYSTÈMES

48
PROJETS REMARQUABLES

GÉOTHERMIE ET STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE DANS LES HYDROSYSTÈMES

Ce programme cible les réservoirs géothermiques en aquifères, dont la perméabilité naturelle laisse une faible incertitude sur la ressource (débit, température) et permet leur exploitation directe (chaleur, froid, électricité), à différentes profondeurs, quel que soit le contexte géologique (sédimentaire, volcanique, socle).
Il s'intéresse également aux aquifères adaptés au stockage souterrain d'énergie thermique. Ainsi ce programme s'appuie-t-il sur les disciplines de l'hydrogéologie, la thermique et la chimie reposant sur une connaissance géologique des milieux qui portent ces aquifères.

Il intègre la géothermie très basse énergie (< 30 °C), connectée à des aquifères superficiels et nécessitant l'usage de pompes à chaleur, la géothermie basse énergie (30-100 °C) permettant les usages directs, la géothermie moyenne énergie (100-150 °C), notamment en domaine de socle fracturé et la géothermie haute énergie (> 150 °C), conventionnelle, c'est-à-dire en contexte volcanique, ou non conventionnelle, c'est-à-dire faisant appel aux technologies EGS (Enhanced/Engineered Geothermal Systems, ou systèmes stimulés).

Le programme aborde également le stockage de chaleur et de froid dans les aquifères de faible profondeur, ainsi que le stockage de chaleur dans les aquifères plus profonds. Il intègre toutes les échelles utiles à l'appréhension de la phénoménologie - de l'environnement immédiat du puits jusqu'à la région - et vise les objectifs suivants :

• l'évaluation de la ressource à l'échelle territoriale ;

• l'exploration, la caractérisation et la modélisation des réservoirs géothermiques en milieux aquifères poreux et/ou fracturés, permettant une exploitation de type conventionnel ;

• la conception du système, en optimisant les conditions d'exploitation de la ressource et le suivi de l'exploitation proprement dite.

Il vise l'optimisation des performances du système énergétique à travers sa productivité, sa pérennité, son coût et son impact sur l'environnement.

Les actions relevant de l'appui aux politiques publiques sont réalisées aux échelles régionales ou locales ; les développements méthodologiques se font essentiellement au niveau national, le plus souvent dans le cadre d'un partenariat fort avec l'ADEME. Ce partenariat est aussi décliné en région avec des collectivités territoriales diverses : Conseils régionaux et départementaux, communautés de communes et d'agglomérations, communes, établissements publics d'aménagement.

ÉVALUATION DES RESSOURCES GÉOTHERMALES DE BASSE ET TRÈS BASSE ÉNERGIE EN MÉTROPOLE

L'année 2016 a été marquée, en régions, par :

• la poursuite du projet relatif à la valorisation géothermique du bassin ferrifère de Lorraine (réservoirs miniers et nappe du Dogger à l'aplomb de ces derniers), à travers la synthèse des techniques géothermiques adaptées aux différents secteurs identifiés, ainsi qu'un bilan de la réglementation, dans les 12 entités administratives (communautés de communes et communes) concernées ;

• l'édition de l'atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères et du sous-sol (pour des sondes géothermiques verticales) de la Bourgogne, limité aux principaux bassins de population et d'activité de la région ***(Fig.15)***. L'étude montre notamment que le potentiel géothermique sur aquifère alluvionnaire est favorable sur l'ensemble des zones étudiées. Elle constitue ainsi une première approche à destination des maîtres d'ouvrage potentiels, bureaux d'études et décideurs des collectivités territoriales ;

• la restitution des résultats de l'étude consacrée au développement de la géothermie très basse énergie sur la zone de La Baronne à La Gaude (06), qui a montré notamment que les besoins énergétiques du Marché d'Intérêt National (MIN) d'Azur et du chauffage de 600 logements pourraient être couverts en totalité par la ressource en eau des alluvions du Var ;

• l'achèvement de la phase 1 du diagnostic thermique des sites thermaux du Massif des Vosges, portant sur l'inventaire et la caractérisation des émergences thermales et des besoins thermiques en surface (principalement de chaleur), dans l'existant mais également pour les projets à venir (éléments prospectifs), sur l'ensemble de ce territoire ;

• la finalisation des cartographies régionales des zonages réglementaires relatives à la géothermie de minime importance en Rhône-Alpes et Limousin, et leur poursuite en ce qui concerne l'Aquitaine, le Centre-Val de Loire et l'Île-de-France ;

• l'achèvement de l'étude sur la reconversion d'un ancien puits de mine, le Puits Y, à Gardanne (13), caractérisé par sa profondeur (plus de 1 100 m), son diamètre

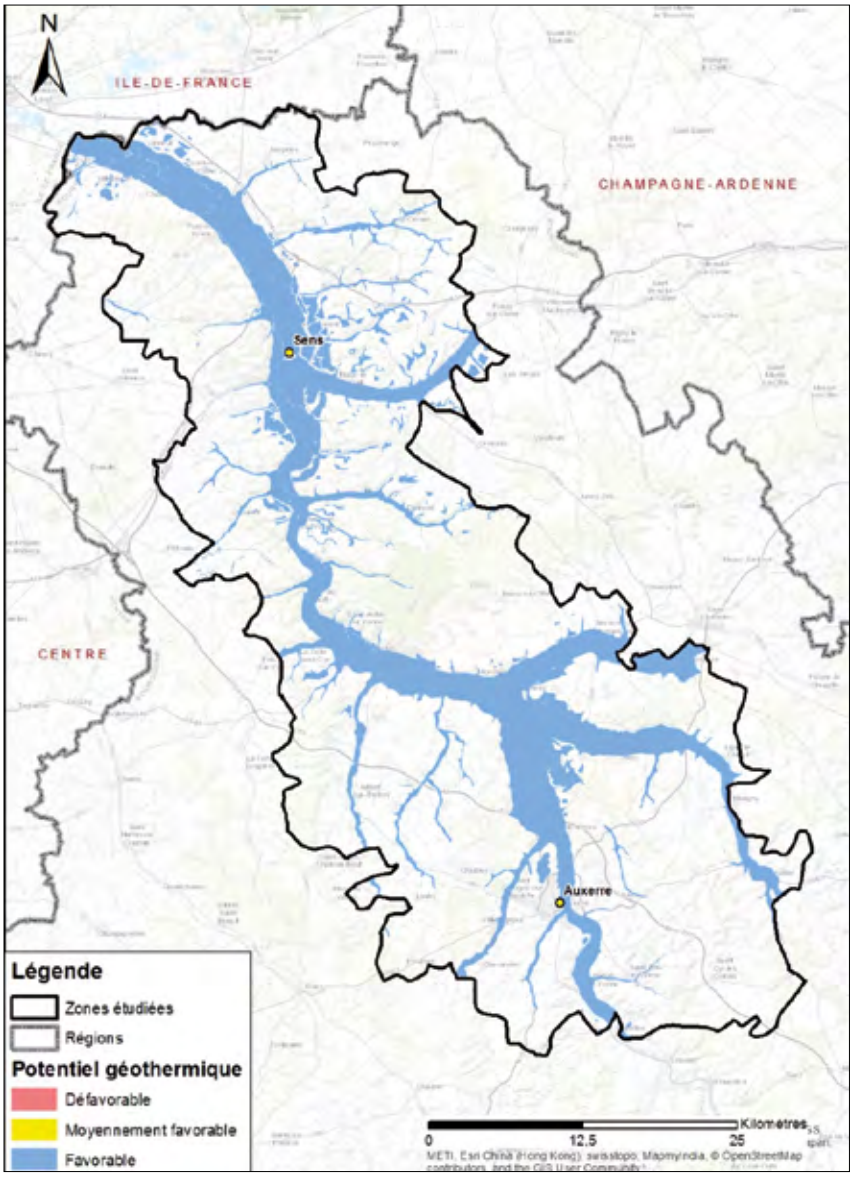


Fig. 15 - Carte du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères de la zone nord Bourgogne.
© BRGM

(10 m) et un niveau d'eau maintenu à 300 m sous la surface. Le scénario retenu pour son utilisation géothermique considère ce puits comme un réservoir d'énergie thermique dont le niveau de la température est maintenu suffisamment bas pour pouvoir être utilisé pour le chauffage, pour l'eau chaude sanitaire (ECS) et pour la climatisation, ces trois usages recourant à des pompes à chaleur pour adapter le niveau de la température livrée et la distribution de l'énergie thermique se faisant via un réseau en boucle tempérée ;

• le lancement d'une étude du potentiel géothermique basse énergie et du potentiel des eaux de mines dans le Nord-Pas de Calais.

CONNAISSANCE ET GESTION DES RESSOURCES DE BASSE ET TRÈS BASSE ÉNERGIE EN MÉTROPOLE

Dans le domaine de la géothermie très basse énergie, le BRGM a réalisé en 2016 le bilan et le retour d'expérience sur la procédure AQUAPAC depuis sa mise en place en 1985. Cette procédure consiste à proposer aux maîtres d'ouvrage qui souhaitent réaliser une opération de géothermie sur nappe une double garantie portant sur la présence puis sur la pérennité de la ressource en eau souterraine nécessaire au bon fonctionnement de leur installation. Cette étude propose quelques aménagements, en particulier la mise en place d'un suivi technique des dossiers et des forages réalisés, insistant plus particulièrement sur les aspects liés à la réinjection.

Le BRGM a poursuivi en 2016 ses activités d'expertise dans le cadre de deux comités techniques dédiés à la gestion des opérations géothermiques de basse énergie : le comité du fonds de garantie géothermie géré par la SAF Environnement (CT-SAF) et le comité technique sur les aquifères profonds (CT-GAP). Il a participé à trois réunions du CT-SAF au cours desquelles une vingtaine de dossiers a été examinée, au titre de la garantie "Court terme" et de la garantie "Long terme", et il a établi des rapports d'expertises sur onze dossiers. Le BRGM est intervenu lors de quatre réunions du CT-GAP en 2016, dont une réunion plénière consacrée principalement aux bonnes pratiques tirées des retours d'expérience sur les forages profonds, ainsi qu'à l'exploitation de la ressource de l'Albien.

Parallèlement à ces expertises, le BRGM a mené différentes actions en 2016 portant sur l'aquifère du Dogger et sur d'autres aquifères en contexte sédimentaire, décrites ci-après.

Le contexte de relance de la géothermie au Dogger en Île-de-France, depuis 2007, nécessite une gestion à long terme de cet aquifère qui passe, notamment, par l'acquisition régulière de données (historiques d'exploitation, suivi géochimique, caractéristiques du réservoir...) et leur pérennisation dans la base de données "Dogger". Ainsi, le projet récurrent "Gestion du Dogger" s'inscrit dans la volonté de pérenniser cette action dans le temps afin de contribuer à maîtriser l'intense exploitation de cet aquifère, à

communiquer des éléments concrets à la DRIEE (Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie) pour accorder les permis d'exploitation et à améliorer sa connaissance.

La réhabilitation d'anciens ouvrages constitue une opportunité nouvelle pour approfondir l'étude des corrélations hydrogéologiques et géologiques entre les niveaux producteurs des forages géothermiques, qui est menée depuis le début de l'exploitation du Dogger.

Les actions réalisées en 2016 ont consisté en :

• l'ajout et le renseignement des nouveaux ouvrages (caractéristiques géométriques, tubages, essais, paramètres réservoir) à partir des informations collectées dans les dossiers des ouvrages exécutés (DOE) ;

• la mise à jour des informations sur les ouvrages existants après travaux sur puits (notamment les rechemisages) à partir des rapports ou coupes techniques ;

• le renseignement des données d'exploitation en 2016 de la boucle géothermale et du suivi géochimique à partir des fichiers BRGM des exploitants et maîtres d'ouvrage ;

• la maintenance du site web et le développement de son interface de gestion.

Le BRGM a lancé en 2016 une étude portant sur la réinjection "basse" température au Dogger, les impacts potentiels thermo-hydro-chimiques et thermomécaniques affectant le réservoir et son exploitation. Elle a pour objectif d'apporter des recommandations et des éléments de décision aux maîtres d'ouvrage et exploitants sur la température en-dessous de laquelle il serait risqué de réinjecter en termes d'impacts sur l'intégrité du réservoir et donc la pérennité de son exploitation. Cette étude s'appuie sur des travaux de modélisation hydrodynamique, géochimique et thermomécanique et utilise les connaissances déjà acquises sur l'exploitation du Dogger en Île-de-France, afin d'évaluer l'impact des différents phénomènes liés à l'injection d'un fluide froid.

Partant du constat qu'une trentaine d'opérations de géothermie profonde a été réalisée au cours des années 1970 et 1980, et que les tubages des ouvrages ont, dans de nombreux cas, dépassé l'âge de 30 ans, ce qui nécessite d'envisager leur réhabilitation, le BRGM a engagé en 2016 une étude relative au retour d'expérience concernant les forages géothermiques profonds nouvellement rénovés ou réhabilités en région Île-de-France.

Dans un premier temps, il s'agit d'établir un état des difficultés rencontrées, que ce soit au cours des forages, du raccordement à la chaufferie centrale ou de leur mise en exploitation. Cet état des lieux doit être élaboré sur la base d'entretiens avec des maitres d'ouvrages et/ou des bureaux d'études en charge du suivi des opérations. Les cas étudiés concernent de nouvelles opérations géothermiques, des forages rechemisés, des doublets anciens réhabilités et des forages abandonnés (fermeture de puits). Des dysfonctionnements rencontrés lors des expertises et des réflexions sur l'utilisation des outils de diagraphie sont également pris en compte.

En 2016, le BRGM a engagé la réalisation d'un guide de bonnes pratiques visant à une exploitation optimale et durable de doublets géothermiques basse énergie dans le contexte de réservoirs clastiques (ou détritiques, de type sables et grès par exemple). L'objectif de ce guide est de rassurer les opérateurs susceptibles d'explorer puis d'exploiter des réservoirs de ce type, alternatifs au Dogger dans le Bassin parisien, et d'éviter les déconvenues et échecs rencontrés lors d'opérations anciennes (Melleray, Cergy et Achères au Trias) ou plus récentes (Issy-les-Moulineaux à l'Albien). Au cours de l'année 2016, une synthèse de retours d'expérience des forages géothermiques réalisés en Europe a été élaborée, sur la base notamment des éléments recueillis à l'occasion de visites de sites au Danemark (3 doublets) et aux Pays-Bas (12 doublets).

CONNAISSANCE DES RESSOURCES DE MOYENNE ET HAUTE ÉNERGIE EN MÉTROPOLE

Le BRGM a lancé en 2016 une étude portant sur la cartographie des cibles géothermiques de moyenne température en France métropolitaine pour la cogénération (production conjointe d'électricité et de chaleur). Cet atlas a été élaboré en plusieurs étapes : synthèse et recueil des données sources, construction du système d'information géographique à l'échelle des différents domaines géologiques, numérisation des cartes de paramètres définissant les cibles potentielles et traitement des bases de données sous SIG.

EXPLORATION DE LA RESSOURCE GÉOTHERMALE EN DOMAINE VOLCANIQUE

Les décisions du Comité Interministériel de l'Outre-mer de novembre 2009 ont relancé l'exploration géothermique pour la production d'électricité dans les DROM, en identifiant le BRGM comme un acteur majeur.

Ainsi, en 2012, 2013 et 2014, en Martinique, une campagne d'exploration géothermique de surface a permis l'acquisition de nouvelles données géologiques, hydrogéologiques, géochimiques et géophysiques sur trois secteurs visant une ressource de haute température : la montagne Pelée au nord, le piton des Carbets au centre et Les Anses-d'Arlet au sud de l'île. La combinaison de ces données a permis d'élaborer de nouveaux modèles conceptuels des systèmes géothermiques pour chacun de ces prospects. Ces modèles ont conduit à identifier deux zones favorables pour l'implantation de forages d'exploration : l'une, au nord, sur le flanc sud-ouest de la montagne Pelée et l'autre, au sud, à proximité de Petite Anse.

***Fig. 16** - Mesure d'orientation sur des dépôts hydrothermaux près de la Pointe Desgras dans la plaine du Lamentin.*
© BRGM

À partir de 2016, la plaine du Lamentin a, quant à elle, fait l'objet d'investigations complémentaires dans le but d'évaluer une ressource de moyenne énergie (autour de 90 °C) en vue, notamment, de la production de froid par pompe à absorption ***(Fig.16)***. La campagne de terrain mise en œuvre a impliqué différentes disciplines et méthodes d'investigation : la géophysique avec l'électromagnétisme à source contrôlée type CSEM complétant les informations fournies par l'électromagnétisme héliporté et la gravimétrie, la géologie et la géochimie.

Ces données complémentaires doivent permettre de construire un modèle géothermique 3D conduisant à déterminer une zone favorable à l'implantation de nouveaux forages.

PROJET REMARQUABLE

L'EXPLOITATION DES EAUX MINIÈRES, UNE SOURCE D'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE POUR LES BESOINS D'UNE FUTURE ZONE D'ACTIVITÉ : L'EXEMPLE DE L'ANCIEN CARREAU DE MINE DU PUITS YVON MORANDAT À GARDANNE

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

La Ville de Gardanne (Bouches-du-Rhône), dans le cadre de sa politique en faveur des énergies renouvelables, a sollicité le BRGM pour conduire une étude de caractérisation d'un important réservoir d'eau (10 m de diamètre sur 1 100 m de hauteur), le Puits Y, localisé dans le vaste complexe d'une ancienne exploitation minière à Gardanne.

Depuis la fin de l'exploitation de l'ancienne mine de charbon de Gardanne, l'arrêt partiel des pompages a en effet contribué à ennoyer les galeries, ce qui constitue un important réservoir d'eau dont les températures, selon la profondeur, peuvent varier de 20 à 30°C. Le volume ennoyé présente ainsi une capacité thermique volumique pratiquement double de celle des roches et suscite des questionnements quant à son utilisation à des fins géothermiques. L'aménageur a souhaité déterminer la faisabilité technique d'une exploitation des eaux de l'ancienne mine de charbon partiellement ennoyée comme source d'énergie géothermique en vue de satisfaire les besoins en chaud et en froid d'une future zone d'activité (ZA), installée au droit du carreau de mine du puits Yvon Morandat.
L'étude a mis en évidence les solutions techniques qui pouvaient être raisonnablement envisagées.
L'équipement géothermique du Puits Y nécessitera une conception spécifique tout en utilisant des composants conventionnels.

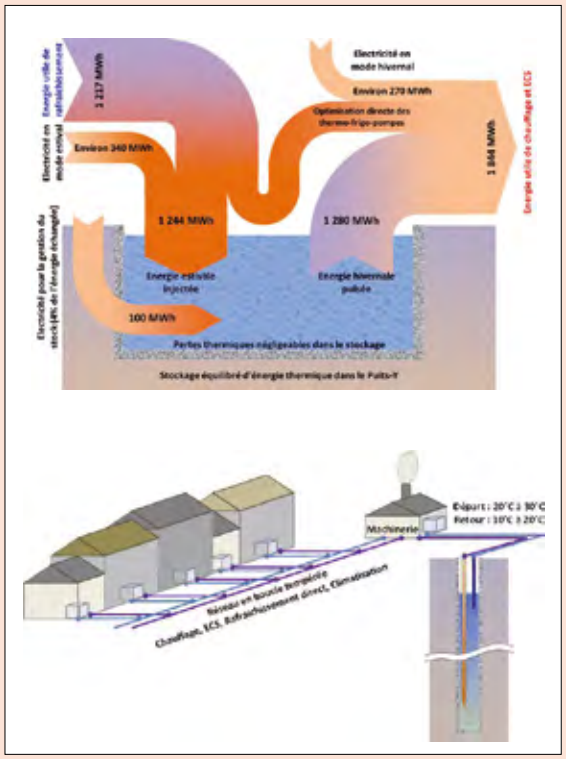
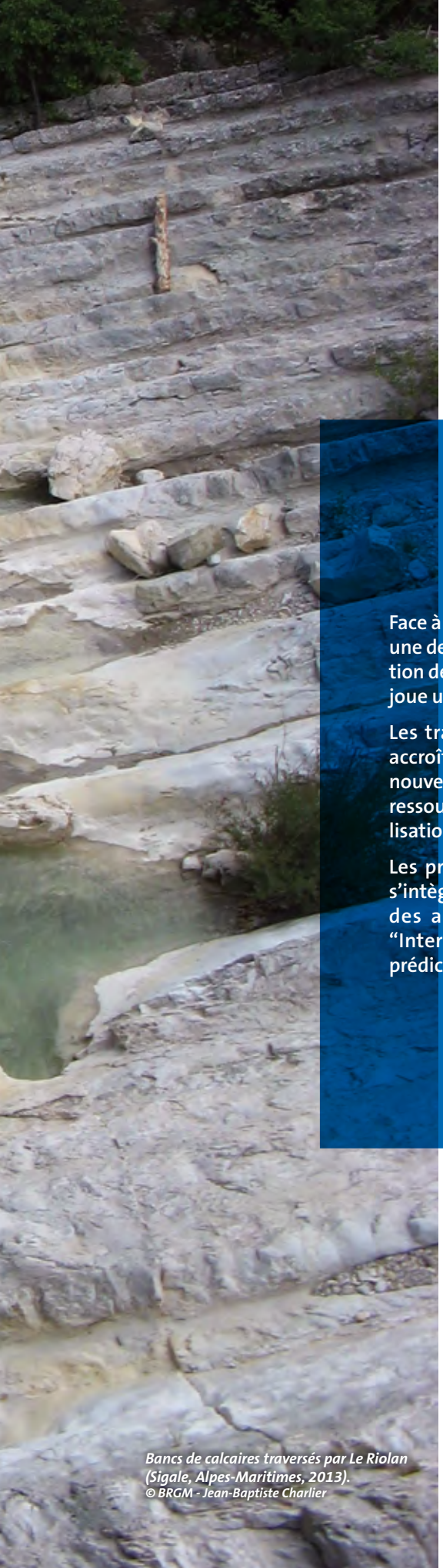


Diagramme de flux optimum et schéma de principe du système énergétique retenu pour l'exploitation du Puits-Y (H. Lesueur).
© BRGM

RESSOURCES EN EAU



Face à une raréfaction des ressources en eau et à une demande croissante des usagers, l'amélioration des connaissances sur les eaux souterraines joue un rôle essentiel pour leur gestion durable.

Les travaux de cet axe visent à améliorer et accroître la capacité du BRGM à développer de nouveaux outils pour l'évaluation et le suivi des ressources en eau souterraine, et pour la modélisation et la prévision de leur comportement.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes : "Potentialité des aquifères et gestion de la ressource", "Interaction des masses d'eau" et "Scénarios prédictifs des ressources en eau".

52
POTENTIALITÉ DES AQUIFÈRES ET GESTION DE LA RESSOURCE

54
INTERACTION DES MASSES D'EAU

56
SCÉNARIOS PRÉDICTIFS DES RESSOURCES EN EAU

58
PROJETS REMARQUABLES

Bancs de calcaires traversés par Le Riolan (Sigale, Alpes-Maritimes, 2013).
© BRGM - Jean-Baptiste Charlier

POTENTIALITÉ DES AQUIFÈRES ET GESTION DE LA RESSOURCE

Ce programme vise à améliorer la connaissance des processus hydrogéologiques, en particulier sur les aquifères complexes (karst, socle, milieu volcanique et systèmes thermo-minéraux).

En raison des tensions importantes qui se dessinent sur les ressources en eau, des réserves localisées dans ces aquifères encore peu ou pas du tout sollicités, notamment du fait de leur complexité, seront à terme exploitées. Grâce, en particulier, aux travaux menés dans les territoires d'Outre-mer et dans le cadre du centre de recherche Franco-Indien sur les eaux souterraines (CEFIRES, en partenariat avec le NGRI à Hyderabad, Andhra Pradesh) et aux investigations sur les grands aquifères karstiques du sud-est de la France ou ceux du socle breton, le BRGM étudie de nombreux sites dans des contextes géologiques variés. Pour examiner les possibilités d'augmenter la disponibilité en eau sur différents secteurs à certaines périodes et pour améliorer sa protection, des méthodes innovantes pour la connaissance des aquifères (levés géophysiques aéroportés, méthodes isotopiques, traitement du signal, etc.) sont mises en œuvre.

CONNAISSANCE DES SYSTÈMES HÉTÉROGÈNES

Diverses études menées en 2016 ont concerné le développement d'approches éprouvées valorisant les résultats antérieurs concernant les modèles conceptuels des aquifères karstiques. L'objectif est de mieux estimer la ressource exploitable de ce type d'aquifère en poursuivant le développement d'approches couplées appuyées sur des outils satellitaires et géophysiques.

Ainsi, le projet "Plateau de Sault", réalisé en partenariat avec les Agences de l'eau Adour-Garonne et Rhône Méditerranée Corse, les Conseils départementaux de l'Ariège et de l'Aude et le Conseil régional Occitanie / Pyrénées-Méditerranée, a pour objectif d'améliorer les connaissances géologiques et hydrogéologiques des systèmes karstiques de cet ensemble. Pour mieux comprendre les écoulements souterrains, les principales sources du secteur ont ainsi été équipées d'instruments de mesures de façon à suivre leur niveau d'eau et leur débit entre l'automne 2014 et le printemps 2017. Sur la plupart d'entre elles, des mesures de température et de conductivité électrique sont également effectuées, ainsi que des prélèvements pour analyses chimiques. Une campagne de mesures de sismique réflexion a été réalisée en juin 2016 sur le plateau d'Espezel. Le modèle géologique 3D permet de vérifier la continuité des couches calcaires qui peuvent être karstifiées et les connexions éventuelles entre les différentes couches. Il permet aussi d'identifier l'extension des zones potentiellement aquifères.

En région Occitanie, un autre projet "Dem'Eaux Roussillon" s'appuyant sur des outils similaires a été lancé. Il vise à mieux connaitre les propriétés hydrogéologiques de l'aquifère qui assure l'alimentation en eau potable de la ville de Perpignan. Pour cet aquifère multicouche, du Plio-Quaternaire, cinq thèmes seront explorés : la géologie (géométrie du réservoir), le littoral (liens avec l'eau de mer), les usages (prélèvements actuels et prévisions), l'hydrogéologie (dynamique des eaux souterraines) et le numérique (outil de gestion, visualisation des données).

Dans le département de la Dordogne, l'étude des karsts aquitains repose sur deux approches complémentaires. D'une part, l'histoire géologique et structurale de la Dordogne permet de reconstituer les périodes favorables à la karstification des réservoirs du secondaire et d'autre part, l'hydrogéologie vise à comprendre le fonctionnement des systèmes karstiques ***(Fig.17)***.

Une approche cartographique des typologies du karst affleurant pour décrire les modalités d'infiltration par croisement des informations géologiques et hydrogéologiques est également explorée. Cette approche doit encore être validée mais elle permettra d'apporter des informations utiles sur les questions de vulnérabilité des captages et sur le degré de fonctionnalité des systèmes. *In fine,* le projet permettra de répondre aux besoins de connaissance du fonctionnement des aquifères carbonatés nécessaires aux gestionnaires et acteurs locaux. La méthodologie mise en place est conçue pour être transposable à d'autres aquifères carbonatés du Bassin aquitain.

***Fig. 17** - La Roque Saint-Christophe, falaise calcaire taillée par la Vézère, Dordogne.*
© BRGM

En domaine de socle, la valorisation des levés électromagnétiques aéroportés pour la thématique de la ressource en eau a, depuis quelques années, permis des avancées de connaissance majeures notamment dans les DROM.

Sur le secteur de Pierrefonds à La Réunion, l'interprétation des données de géophysique héliportée avait pour objectifs l'adaptation du modèle de géophysique électromagnétique héliportée (AEM) au contexte hydrogéologique de Pierrefonds en confrontant les données aux connaissances géologiques et hydrogéologiques du secteur, et l'élaboration de cartes permettant de présenter les données en termes d'iso-profondeurs, iso-résistivité et iso-hydrogéologie. Ce travail a permis de préciser l'hydrogéologie du secteur et notamment la position et la géométrie de l'intrusion saline. Un phénomène de dédoublement de l'intrusion saline et une intrusion saline repoussée par la recharge relative à la rivière Saint-Étienne au droit de son embouchure ont ainsi été mis en évidence ***(Fig.18)***. L'AEM montre tout son intérêt dans ces milieux offrant une image quasi continue du continuum terre-mer, ce qui permet d'appréhender les conditions aux limites d'un aquifère. L'usage combiné d'autres méthodes géophysiques permet d'atteindre des investigations plus en profondeur.

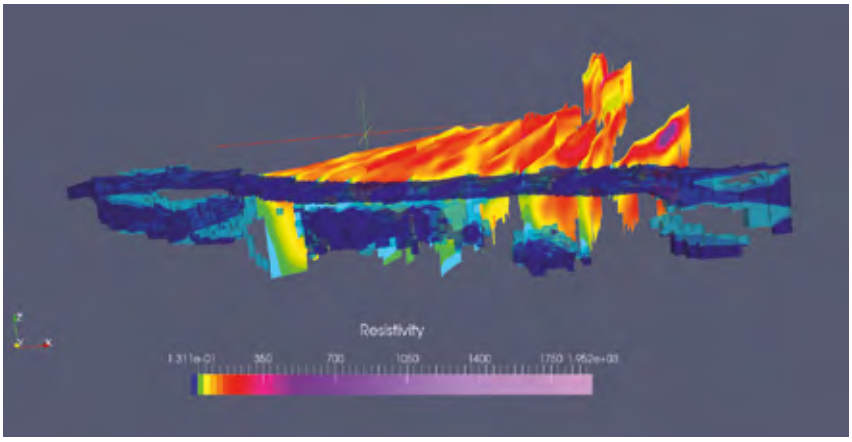


***Fig. 18** - Augmentation de la profondeur du conducteur correspondant à l'intrusion saline. Les volumes de couleur bleue représentent les mailles dont la résistivité est inférieure à 10 Ω.m. Le cercle vert marque l'absence de conducteur au droit de la rivière Saint-Étienne (intrusion saline repoussée par la nappe d'accompagnement).*
© BRGM

VALORISATION RÉALISÉES

Allanic C. & al. (2016).
Synthèse structurale du Plateau de Sault (Pyrénées orientales) : Modélisation géologique 3D et confrontation avec la gravimétrie, *25e Réunion des Sciences de la Terre, 24-28 Octobre, Caen, présentation orale.*

Bally-Comte V. & al., (2016).
Karst GW resources assessment by application of the KARSYS approach - Plateau de Sault (France), *Congrès Eurokarst 2016, 5-9 Septembre 2016, Neuchâtel, présentation orale.*

Genevier, M. (2016).
Conceptual hydrogeological model of Alpine Corsica metamorphic formations from a pluridisciplinary, multi-scale approach. *Abstract n°2278, 43rd IAH Congress, 25-29 september 2016, e-poster.*

Marechal J.C., B. Dewandel, B. Ladouche, P. Fleury (2016).
What Can We Learn About Karst Aquifer Heterogeneity From Pumping Tests ? *In AGU Fall Meeting, San Francisco, United States, December 2016.*

Brisset N., L. Bechelen, M. Baïsset, F. Mathieu, A. Gutierrez, B. Joseph (2016).
Hydrogeological study for the enhancement of drinking water distribution in Sparouine Village (French Guiana). *In 43rd IAH congress, Montpellier, France, September 2016.*

Caballero Y., L. Zerouali, S. Lanini, J.B. Charlier, E. Lucas, L. Cadilhac, C. Page (2016).
A simple but robust assessment of present and future karst systems recharge. To what extent does it helps water managers for future water management ? *In Eurokarst 2016, Neuchatel, Switzerland, September 2016.*

Bailly-Comte V., Malard A., Ladouche B., Maréchal J.C., P.Y Jeannin (2016).
Karst groundwater resources assessment by application of the KARSYS approach - Plateau de Sault (France). *In Eurokarst 2016, Neuchatel, Switzerland, September 2016.*

Douay D., Gandolfi J.M., Marchet P., Delporte C. (2016).
Un programme multipartenaire et multi-échelle de recherche d'eau souterraine en domaine de socle : de l'outil d'aide à la décision à une échelle régionale jusqu'au forage. *Géologues, 191 : 18-21.*

Freslon M., A. Laurent, A. Orange (2016).
Recherche d'eau en terrain de socle et bassins sédimentaires : des résultats contrastés et un atout pour le département de la Manche en matière de développement de connaissance. *Géologues, 1941 : 39-45.*

INTERACTION DES MASSES D'EAU

Que ce soit sur les zones continentales, où les eaux souterraines peu profondes sont en relation étroite avec les cours d'eau, ou sur les zones côtières, où les nappes peuvent être à l'interface avec des eaux salées, de nombreuses questions se posent sur les aspects quantitatif et qualitatif de la ressource en eau et des milieux associés.

Pour mieux appréhender ces systèmes et pouvoir répondre aux différentes politiques publiques en termes de gestion de la ressource ou d'aide à la décision sur les zones à enjeux majeurs, il est nécessaire de mieux caractériser les interfaces entre eaux souterraines et eaux de surfaces – zones humides – eaux marines, par l'acquisition de données et l'amélioration de la compréhension des processus de transferts à ces limites.

RELATIONS EAUX DE SURFACE ET EAUX SOUTERRAINES

La quantification des échanges de flux entre eaux de surface (ESU) et eaux souterraines (ESO) nécessite une approche pluridisciplinaire et multi-échelle du fait de la complexité de l'interface nappe-rivière et de la forte variabilité spatio-temporelle des processus. Identifier les secteurs et le type d'échanges est la première étape indispensable à toute analyse des relations nappes-rivières. Beaucoup d'études locales répondent à cette question mais peu sont valorisées du fait de l'absence d'un référentiel national.

L'étude exploratoire des liens entre référentiels hydrogéologique et hydrographique menée de 2013 à 2016 par l'ONEMA (aujourd'hui AFB) et le BRGM prend en compte quatre types d'interface entre eau souterraine et eau de surface : entre une nappe et une rivière, entre une nappe et une zone humide, entre une nappe et un plan d'eau et enfin entre une nappe et le milieu marin littoral. Une analyse de la typologie de ces quatre milieux de surface a été menée, afin de définir au mieux les conditions naturelles pouvant engendrer ou empêcher les interactions avec les eaux souterraines. En complément, un état de l'art a été mené sur les approches scientifiques permettant de caractériser les échanges pour ces configurations ESO/ESU particulières. Une enquête en ligne sur la problématique des données relatives aux échanges ESO/ESU a également été élaborée et soumise aux organismes en charge de l'élaboration des SDAGE et aux membres du sous-groupe national BDLISA. Les résultats de l'enquête permettent de :

- confirmer la nécessité d'améliorer sensiblement la connaissance sur cette thématique des échanges ESO/ESU qui reste encore, globalement, assez mal appréhendée ;
- mettre en évidence la relative bonne connaissance des échanges de type nappe/rivière au dépens des autres types d'échanges ESO/ESU (nappe/plan d'eau, nappe/zone humide et nappe/milieu littoral), généralement mal connus ou ignorés.

L'ensemble des concepts a été compilé dans le dictionnaire de données "Acquisition des données des relations entre les eaux souterraines et les eaux de surface", diffusé sur le site du SANDRE depuis novembre 2016. Les différents tests réalisés montrent que ce nouveau modèle physique de données semble globalement bien adapté.

La gestion des prélèvements en nappe alluviale doit intégrer l'évaluation des impacts sur les eaux de surface. Ainsi, le BRGM a établi un premier retour d'expérience sur la détermination des volumes prélevables pour les aquifères à nappe libre à partir d'un panel d'une trentaine d'études. Les approches développées apparaissent très hétérogènes aussi bien du point de vue méthodologique que de celui des outils utilisés. Les incertitudes liées à l'estimation des volumes prélevables sont nombreuses. Par ailleurs, une méthodologie unique, aussi pertinente soit-elle, ne suffit pas à couvrir la variété des contextes hydrogéologiques et se heurte au problème récurrent des données insuffisantes pour obtenir des estimations fiables.

C'est pourquoi une démarche structurante, appliquée systématiquement aux études engagées est préconisée. Elle s'appuierait sur quelques incontournables :

- caractérisation hydrogéologique de l'hydrosystème ;
- inventaire exhaustif des prélèvements et rejets ;
- définition des objectifs environnementaux ;
- choix de la méthodologie et des outils ;
- délimitation des unités de gestion et détermination des indicateurs associés ;
- estimation des volumes prélevables, confrontation aux situations passées et à la recharge ;
- et perspectives d'amélioration et programme d'acquisitions complémentaires décidés si nécessaire par le comité de pilotage constitué à l'amont de l'étude.

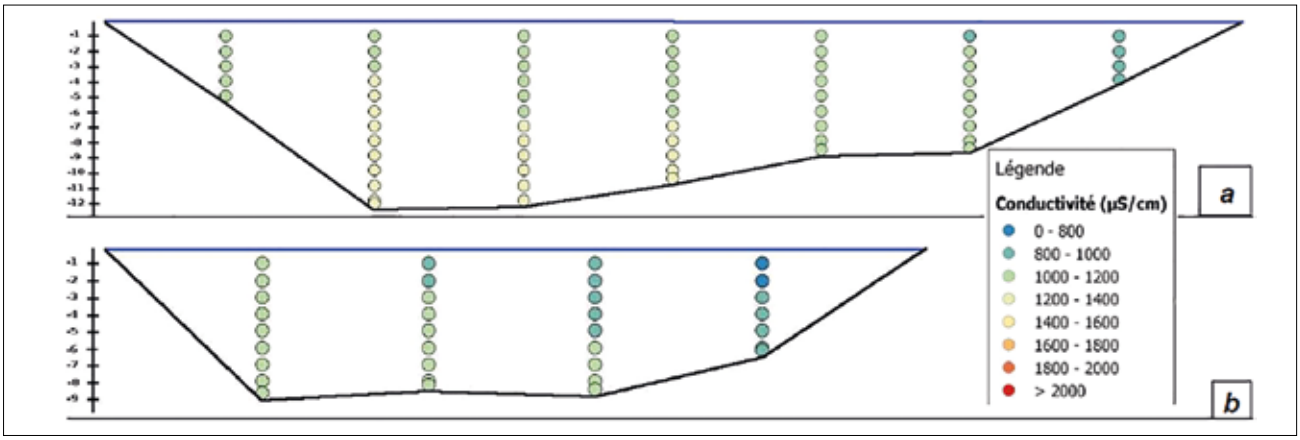


Fig. 19 - Répartition de la conductivité sur 2 sections (a) et (b) mesurées le 25 janvier 2016 sur la rivière Comté.
© BRGM - N. Brisset

Dans les Yvelines, sur le secteur de l'Houdanais, une analyse des niveaux piézométriques est menée afin de vérifier l'impact des prélèvements agricoles sur le cours d'eau de la Vesgre et d'examiner le bien-fondé d'un système de gestion de la nappe basé sur un indicateur reposant sur les données de trois piézomètres. Il est démontré que si l'indicateur semble représenter correctement les débits des eaux de surface, la sensibilité des débits des cours d'eau à d'éventuels pompages proches est difficile à tester sur la base des données disponibles. Si l'intégration d'un piézomètre supplémentaire s'avère pertinente pour le système de gestion, la variabilité locale du climat rend difficile le choix de la station pluviométrique de référence.

Dans l'objectif de mieux gérer et protéger la ressource en eau, une synthèse des connaissances hydrogéologiques et des relations entre les eaux souterraines et de surface est réalisée sur l'empreinte du SAGE Cailly-Aubette-Robec (Seine-Maritime), d'une extension de 410 km^2. Les schémas conceptuels établis montrent que l'essentiel du flux sortant (80-90 %) est représenté par le débit de la rivière en aval. Les prélèvements d'eau constituent également un débit sortant important. Sur le plan des relations nappes-rivières, le schéma précis des relations spatiales et temporelles est décrit. Ainsi, dans les trois secteurs étudiés, les indicateurs de sollicitation de la nappe utilisés par les gestionnaires affichent des valeurs dépassant la limite de présomption de tension quantitative pour la ressource en eau.

Sur le bassin de l'Iton (Eure), un travail de délimitation, qualification et quantification des échanges nappes-rivières est mené à partir d'une comparaison des altitudes de la rivière et de la nappe, de l'exploitation des données débit métriques et de l'étude de la répartition des écoulements en basses eaux.

Les relations nappes-rivières sont sectorisées et quantifiées. Le bassin versant est par ailleurs modélisé (modèle global-logiciel GARDENIA) ce qui permet d'estimer (I) la part du débit lent (correspondant à l'alimentation par la nappe) dans le débit total de l'Iton et sa variabilité temporelle et (II) les débits de fuite (débit souterrain sortant du bassin versant) notamment du fait de la présence de transferts karstiques.

En aval du périmètre du SAGE Nappes Profondes de Gironde, la réalisation de l'atlas des zones à enjeux repose sur l'identification des milieux conditionnés par les exhaures de surface des nappes profondes et la quantification des flux nécessaires au maintien de ces milieux. Trois secteurs à enjeux font ainsi l'objet d'investigations plus poussées : l'estuaire de la Gironde, l'Entre-Deux-Mers et la Garonne et ses affluents de la rive gauche.

RELATIONS EAUX DE MER ET EAU SOUTERRAINE

Les échanges entre l'eau de mer et les eaux souterraines doivent être intégrés sur les plans qualitatif et quantitatif dans les problématiques de gestion de la ressource.

Ainsi, l'intrusion saline sur la Comté en Guyane fait l'objet de nombreuses études et, depuis 2007, un suivi de la conductivité est mis en place ***(Fig.19)***. Le captage de la Comté permet d'assurer les deux tiers de l'alimentation en eau potable de la Communauté d'Agglomération du Centre Littoral (CACL). Bien que situé à 40 km du fleuve, le captage est parfois sujet, durant les saisons sèches marquées, à des intrusions d'eau dont la salinité dépasse la limite de qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau potable. La connaissance de la forme du front salin étant déterminante pour établir des modèles conceptuels ou hydrodynamiques, diverses campagnes d'acquisition de données sont menées depuis 2015.

Ces observations permettent d'orienter le choix d'un futur modèle numérique décrivant la distance du front salin au captage en fonction de l'évolution du débit du cours d'eau et des niveaux marins.

Afin de comprendre le phénomène et les facteurs caractéristiques, une étude statistique des principales variables mises en jeu (débit du fleuve, conductivité électrique, niveau marin) est entreprise. Un modèle statistique (Support Vector Machine) a été construit afin de prédire l'occurrence d'une intrusion saline mise en évidence par un pic de conductivité. La durée de l'évènement étant d'une grande importance pour le gestionnaire, le même exercice est ensuite effectué pour prédire les évènements de plus de deux heures.

SCÉNARIOS PRÉDICTIFS DES RESSOURCES EN EAU

Ce programme vise à évaluer, à travers l'établissement de modèles conceptuels et numériques aux échelles régionale et suprarégionale, la vulnérabilité des ressources en eau face au changement climatique et aux pressions anthropiques.

L'objectif est d'élaborer des scénarios prédictifs des ressources en eau en vue d'une gestion durable, avec planification et mise en œuvre de mesures d'adaptation. Les modèles régionaux visent à mettre à la disposition des gestionnaires de l'eau des outils permettant de simuler des scénarios tendanciels et de réaliser des études d'impact (changement climatique et/ou pression anthropique) sur la ressource en eau. D'autre part, utilisées de manière prédictive, les modélisations ambitionnent d'anticiper les étiages et les crues karstiques et de gérer des scénarios de crise.

LA GESTION DE L'EXPLOITATION À L'ÉCHELLE LOCALE

Si le BRGM a développé un grand nombre de modèles régionaux régulièrement mis à jour, comme le modèle Nord-Aquitain (MONA), celui de l'Albien du Bassin de Paris, de la nappe du Jurassique moyen (Dogger) en Poitou-Charentes ou du bassin de la Somme, des modèles hydrodynamiques à plus petite échelle trouvent également leur place parmi les outils de gestion des ressources en eau souterraine.

L'alimentation en eau potable de la métropole lilloise est assurée, à hauteur de 40 %, par les champs captants du Sud de Lille qui exploitent l'aquifère de la craie. Or cette ressource est vulnérable et subit de plus en plus l'influence de l'urbanisation. Aussi le syndicat mixte du SCOT (schéma de cohérence territorial), a proposé au BRGM, en partenariat avec la Métropole Européenne de Lille, d'utiliser le modèle hydrodynamique de la nappe de la craie pour évaluer l'impact de l'urbanisation sur la quantité d'eau disponible pour l'alimentation en eau potable. La modélisation a notamment permis d'évaluer les conséquences de la diminution de la recharge liée à l'imperméabilisation des sols, en tenant compte de l'ensemble des projets d'urbanisation projetés sur le territoire du SCOT. L'urbanisation amenant un risque supplémentaire de pollution accidentelle ou diffuse, une analyse plus qualitative a été entreprise afin de comprendre et expliquer de manière pédagogique le transfert de substances polluantes depuis le sol jusqu'aux forages. Des recommandations de gestion des champs captants ont été formulées.

L'impact de pratiques agricoles peut également être évalué à l'aide de modèles hydrodynamiques. Ainsi, sur les captages du Vivier (rive gauche de la Sèvre niortaise), une étude de modélisation est initiée, à l'échelle de l'aire d'alimentation des captages (AAC). L'approvisionnement en eau potable de près de 100 000 habitants est en effet assuré principalement par la nappe de l'infra-toarcien, à travers la résurgence karstique du Vivier, point classé Grenelle et captage prioritaire depuis 2013 ***(Fig.20)***. Or, sur ce secteur, des concentrations élevées en nitrate avec une tendance d'évolution à la hausse depuis 1990 sont constatées. Ce phénomène peut être approché par modélisation des transferts d'eau et de polluants.

L'approche utilise et affine le modèle régional des aquifères du Jurassique de Poitou-Charentes (BRGM-2007). Les niveaux d'eau, les débits des sources et des rivières et les concentrations des eaux de surface et des eaux souterraines peuvent être correctement reproduites sur l'AAC. L'outil est ensuite utilisé pour mieux appréhender les réactions du système face à différents scénarios, tels que la modification des prélèvements agricoles, des changements de pratique ou encore une simulation de changement climatique.

***Fig. 20** - Les sources karstiques du Vivier.*
© BRGM

RÔLE ET CONTRIBUTION DES EAUX SOUTERRAINES D'ORIGINE KARSTIQUE AUX CRUES

Dans la continuité des travaux menés depuis 2012 avec le SCHAPI, les études se focalisent aujourd'hui sur les relations entre les crues karstiques et les nappes souterraines en région méditerranéenne. Prédire les crues sur les bassins karstiques constitue en effet un défi, car les karsts sont des hydrosystèmes hétérogènes connus pour leur fonctionnement non linéaire. L'étude menée en 2016 concerne le bassin de Calavon-Coulon à l'est d'Avignon. Environ un tiers du bassin versant du Calavon-Coulon se situe sur la partie sud du bassin hydrogéologique de l'aquifère karstique de la Fontaine de Vaucluse, dont l'impluvium s'étend sur plus de 1100 km². L'objectif global de l'étude vise à une meilleure compréhension du rôle du karst sur la genèse ou la propagation des crues sur le bassin afin d'améliorer leur prévision. Les résultats montrent la très forte dominance des zones infiltrantes paramétrées par la géologie des zones karstiques. La Fontaine de Vaucluse est identifiée comme l'indicateur le plus pertinent pour suivre l'évolution de la saturation des formations karstiques du bassin. Ainsi, le débit à la Fontaine permet d'expliquer la variabilité temporelle des coefficients de ruissellement des épisodes les plus marquants aux différentes stations hydrométriques du bassin. Les résultats des simulations d'un modèle pluie-débit indiquent que l'amplification des crues lors des phénomènes exceptionnels peut s'expliquer par la contribution de zones karstiques (infiltrantes en condition normale) au ruissellement du cours d'eau.

En 2011, un abaque pour la prévision des crues sur le fleuve Lez en contexte karstique avait été développé dans le cadre d'une étude réalisée avec le Service de Prévision des Crues (SPC) MedOuest. Cet outil, utilisé en temps réel, prend en considération le niveau initial du karst à la source du Lez, le cumul des précipitations ainsi que leur intensité. En 2015, de nouvelles analyses, conduites dans le cadre d'un projet FUI, avaient permis d'actualiser l'abaque qui intégrait des intensités de pluies allant jusqu'à 30 mm/h. Or, des intensités supérieures sont aujourd'hui observées en Languedoc-Roussillon. Aussi en 2016, une nouvelle mise à jour est réalisée ainsi qu'un retour d'expérience sur la période 2014-2016 qui connait des épisodes de pluies supérieures à 50 mm ***(Fig.21)***.

VALORISATION RÉALISÉE

Pennequin D., M. Servière, N. Amraoui, C. Loiselet (2016).
Hydro-system flow modelling for water resources management in the fractured and karstified chalk aquifer environment of Eastern Normandy. *In Eurokarst 2016, Neuchatel, Switzerland, September 2016.*

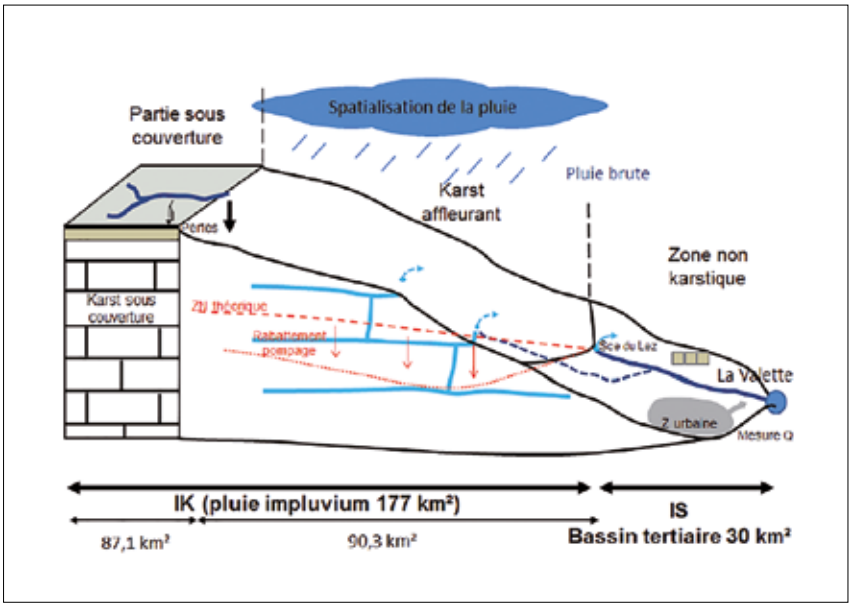


***Fig. 21** - Schéma conceptuel de la structure et fonctionnement du karst du Lez.*
© BRGM

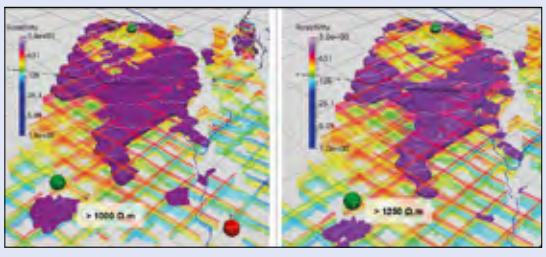
PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU SUR LE TERRITOIRE DE LA COMMUNE DE SAINT-BENOIT (LA RÉUNION): ÉVALUATION ET ACTUALISATION DES POTENTIALITÉS HYDROGÉOLOGIQUES

En raison de tensions récurrentes sur ses ressources en eau souterraine, la commune de Saint-Benoît souhaite valoriser de nouvelles potentialités aquifères sur son territoire. Ces ressources devront être situées en altitude, c'est-à-dire en amont des zones agricoles, à l'origine de pression phytosanitaire. L'approche interdisciplinaire mise en œuvre pour identifier ces potentielles nouvelles ressources repose sur les principales techniques suivantes : interprétation de la géophysique héliportée, modélisation conceptuelle du comportement hydraulique de forages, caractérisation isotopique et datation des eaux. Au-delà de l'exploitation de ressources conventionnelles (nappe peu profonde), des forages de reconnaissance pourraient permettre de caractériser les potentialités hydrogéologiques d'une structure résistante en paléovallée dans les hauts de la commune de Saint-Benoit, dans le prolongement aval de la Plaine-des-Palmistes.

Enfin, la notion d'adaptation des pratiques agricoles en vue de préserver la ressource est abordée dans le cadre d'une stratégie globale de la gestion de la ressource en eau. En effet, des ressources en eau présentes en quantité importante sur le territoire de la commune de Saint-Benoit sont toutefois impactées par la présence de phytosanitaires en relation avec les activités agricoles. Or le contexte hydrogéologique des planèzes de Saint-Benoit est très favorable à une amélioration rapide (environ 5 ans) de la qualité des eaux suite à une adaptation des pratiques agricoles.



Géométrie de la structure en paléovallée, cible potentielle de nouvelles ressources en eau en altitude, en amont des pressions polluantes. Sphère verte : Piton Armand – Sphère rouge : Chemin de Ceinture.

SÉCURISATION DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE DU BOURG DE SPAROUINE (COMMUNE DE SAINT-LAURENT DU MARONI - GUYANE)

Saint-Laurent du Maroni compte 40 000 habitants. Son alimentation en eau potable est assurée par un captage dans le Maroni, toutefois près de 29% de la population n'y a pas accès. Face à la dispersion des zones d'habitations et aux coûts très élevés d'extension du réseau, l'eau souterraine s'avère une solution potentielle. En conséquence, la ville a souhaité réaliser des investigations et le bourg de Sparouine (situé à 35 km) a été ciblé, avec un objectif de 200 m³/jour d'eau potable (besoins probables d'ici 2020). Cet objectif est ambitieux mais compatible avec de précédents travaux du BRGM qui ont montré que les formations métamorphiques du secteur constituent des cibles hydrogéologiques.

La recherche en eau sur le bourg de Sparouine s'est articulée autour d'une phase d'étude géologique et géophysique et d'une phase de forage. Les campagnes géophysiques par panneaux électriques ont permis d'appréhender la géométrie des aquifères et d'identifier plusieurs sites favorables proches de Sparouine, pour la réalisation de sondages carottés (entre 80 et 100 m de profondeur) afin d'estimer le potentiel aquifère. Des forages de reconnaissance de plus gros diamètre ont ensuite été effectués à proximité des sondages carottés les plus pertinents, certains ont ensuite été transformés en forages d'exploitation. Cette étude a souligné la contribution des réseaux de failles profondes pour mobiliser l'eau souterraine.

Foration de FE2 (BSS002NVPP) sur le bourg de Sparouine.
© BRGM – L. Bechelen

CAPTAGES D'EAU POTABLE ABANDONNÉS EN LOIRE-ATLANTIQUE, MAINE-ET-LOIRE ET VENDÉE : INVENTAIRE ET DIAGNOSTIC

Une partie des ouvrages d'eau potable utilisés par le passé est aujourd'hui abandonnée et sans surveillance. Ces ouvrages peuvent devenir des points d'entrée potentiels de pollution alors qu'ils sont implantés sur des aquifères qui constituent, par définition, une ressource à enjeu.

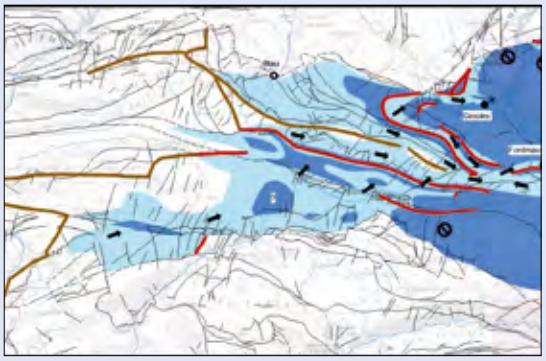
L'étude menée par le BRGM avec le concours de l'Agence Régionale de Santé et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne a permis d'inventorier 365 ouvrages d'alimentation en eau potable (AEP) abandonnés dans les départements Loire-Atlantique, Maine-et-Loire et Vendée. Lorsque les causes en sont connues, ces abandons sont principalement dus à la productivité insuffisante des forages (plus de 50% des cas) et à la dégradation de la qualité chimique de la ressource (près de 30% des cas, principalement nitrates et/ou pesticides). Afin de protéger la ressource en eau et de valoriser au mieux ces captages abandonnés, une doctrine régionale visant à aider l'administration dans ses prises de décision relatives au devenir des ouvrages AEP abandonnés a été élaborée.

Captage abandonné 04196X0029 - La Touche Saint-Armel (Fégréac, Loire-Atlantique).

ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES DU PLATEAU DE SAULT

Le plateau calcaire de Sault est situé en rive gauche de l'Aude, sur le territoire des départements de l'Ariège et de l'Aude, dans un environnement géologique complexe lié à l'orogénèse pyrénéenne. L'objectif de l'étude est d'améliorer les connaissances sur le fonctionnement, la structure et la localisation des réserves en eaux souterraines des systèmes karstiques présents au niveau du plateau.

Les études géologiques et hydrogéologiques visent à préciser la géométrie 3D du sous-sol à partir de campagnes de levers de terrain et de sondages de reconnaissance. Le suivi du débit et des paramètres physico-chimiques des sources permet de mieux comprendre les écoulements souterrains et d'identifier les principales réserves en eau souterraine ainsi que leurs relations avec les rivières telles que l'Aude et le Rébenty. Enfin, des essais de traçages artificiels aident à délimiter les bassins d'alimentation des systèmes karstiques de Fontestorbes, du Blau et de Fontmaure.



Carte d'extension des zones noyées libres (bleu clair) et captives (bleu foncé) du système karstique de Fontmaure. Les flèches noires désignent les probables axes et directions d'écoulement.

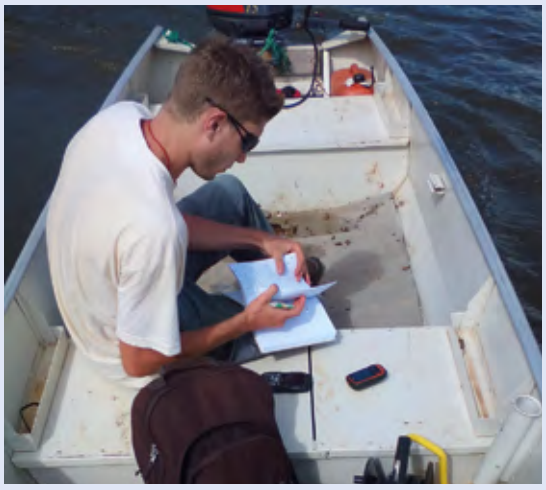
PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

CARACTÉRISATION DE L'INTRUSION SALINE SUR LA RIVIÈRE COMTÉ (GUYANE) ET ANALYSE STATISTIQUE DE SES CONDITIONS

Le captage de la rivière Comté permet d'assurer deux tiers de l'alimentation en eau potable de l'agglomération de Cayenne. Cependant, bien que situé à 40 km de l'estuaire du fleuve, il est parfois sujet, durant les saisons sèches marquées, à des intrusions d'eau saline dont la conductivité dépasse les 1 000 µS/cm (seuil légal maximal fixé pour le prélèvement d'eau brute destinée à la consommation humaine). La connaissance de la forme du front salin étant déterminante pour établir des modèles conceptuels ou hydrodynamiques, des campagnes de mesures de la conductivité selon des sections transversales, composées de plusieurs verticales de mesures, ont été réalisées. Ces analyses montrent que, dans le contexte critique pour la gestion du captage (débit faible et coefficient de marée élevé), le front a une allure pseudo-verticale.

Une étude statistique des principales variables mises en jeu a par la suite été entreprise. En premier lieu, une corrélation temporelle entre la conductivité et deux facteurs explicatifs, à savoir le niveau d'eau donné par un marégraphe et le débit du fleuve, a été mise en évidence. Un modèle statistique probabiliste a ensuite été construit afin de prédire l'occurrence d'une intrusion saline, mise en évidence par un pic de conductivité électrique. La durée de dépassement du seuil de conductivité, primordiale dans la gestion de l'eau potable sur la journée, a également été étudiée.



Campagne de mesures de la conductivité selon des sections transversales.
© BRGM – N. Brisset, 2015

ÉLABORATION D'UN OUTIL DE GESTION DES PRÉLÈVEMENTS D'EAU SUR LE BASSIN DE L'AVRE

Le bassin versant de l'Avre est situé sur le territoire des régions Normandie et Centre-Val de Loire, à une vingtaine de kilomètres au sud-sud-ouest d'Evreux et s'étale sur environ 975 km². L'Avre prend sa source dans les sables du Perche et s'étend sur environ 80 km, avant de se jeter dans l'Eure.

Creusé dans les formations crayeuses du Bassin de Paris, à l'exception de sa partie amont qui se situe dans les sables du Perche, deux formations qui sont d'importants aquifères régionaux, le bassin de l'Avre revêt un caractère essentiellement rural. Toutefois, des volumes d'eau importants (environ 29 Mm^3/an) sont prélevés dans les formations crayeuses de la vallée, principalement pour des besoins d'eau potable (85%). Ces prélèvements d'eau permettent de satisfaire les besoins de l'agglomération parisienne et, dans une moindre mesure, de répondre à la demande locale (petits bourgs et villages). Une partie significative des ressources de la vallée de l'Avre, en particulier dans le secteur de Verneuil-sur-Avre au milieu du bassin, est ainsi dérivée vers la région parisienne. Or depuis plusieurs années, des épisodes de sécheresse ont occasionné des situations d'assecs, particulièrement dans la partie amont du bassin, engendrant des impacts significatifs dans la partie aval. Ceci a conduit à inclure dans le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de l'Avre des objectifs de sécurisation de la production locale d'eau potable et de préservation des écosystèmes aquatiques. À cette fin, un outil de gestion a été mis en place afin de déterminer les quotas de prélèvement pour chaque usage au cours du temps permettant ainsi d'assoir une politique de gestion durable des eaux souterraines.

Plan de situation et vue de la rivière Avre.
© BRGM

MIEUX COMPRENDRE LES ASSECS DE LA RIVIÈRE MIETTE

Affluent de l'Aisne, la Miette est un petit cours d'eau crayeux s'étirant sur 15 km, ayant lui-même pour affluent le ruisseau de Fayau (8,7 km de longueur). Le bassin versant de la Miette, qui présente une surface d'environ 100 km², connaît depuis plus de 40 ans des assecs réguliers à l'amont et à l'aval, tandis que la partie médiane du cours d'eau est toujours en eau.

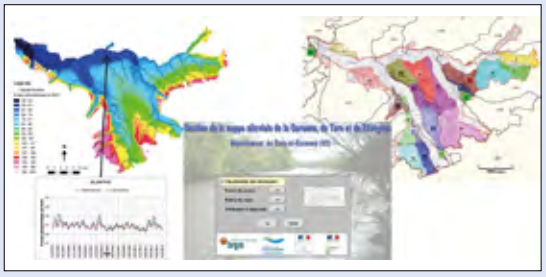
L'étude menée par le BRGM, en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie, vise à mieux comprendre le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du bassin versant de la Miette. Les travaux menés ont conduit notamment à la réalisation de deux cartes piézométriques caractérisant les niveaux de la nappe de la craie en période de basses eaux et de hautes eaux. La Miette, entre Amifontaine et la confluence avec le Fayau (partie amont) représente en effet un exutoire pour la nappe. Ce rôle diminue au fil de l'écoulement en direction de l'Aisne, voire s'inverse dans sa partie aval, où le cours d'eau a tendance à alimenter la nappe en période de basses eaux. Les simulations réalisées à partir du modèle GARDENIA (logiciel de modélisation hydrogéologique globale) ont permis d'établir le bilan hydrologique sur le bassin versant de la Miette. Les résultats laissent supposer que les assecs ne sont pas directement imputables à l'irrigation et qu'il s'agit d'un phénomène récurrent. Toutefois, l'augmentation des prélèvements sur le bassin versant a pour conséquence d'allonger la durée des assecs.

La Miette à Juvincourt (Aisne).
© BRGM

GESTION DES SYSTÈMES AQUIFÈRES ALLUVIAUX DANS LE BASSIN ADOUR-GARONNE : ACTUALISATION DE LA MODÉLISATION HYDRODYNAMIQUE ET DE L'OUTIL DE GESTION DES PRÉLÈVEMENTS DANS LE TARN-ET-GARONNE

Les aquifères alluviaux du bassin Adour-Garonne constituent des ressources productives et faciles d'accès. Elles sont donc fortement exploitées, notamment pour l'agriculture. Afin d'éviter les conflits d'usage, les gestionnaires de l'eau dans le Tarn-et-Garonne ont sollicité le BRGM pour la mise en place d'un outil de gestion des prélèvements pour l'irrigation.

Cet outil est basé sur l'exploitation des résultats d'un modèle hydrodynamique MARTHE, dont la première version remonte à 1997. Actualisé une première fois en 2007, la Mission Inter-Services de l'Eau de Tarn-et-Garonne a souhaité une nouvelle mise à jour afin de répondre à plusieurs objectifs : valider le contour de la nappe d'accompagnement des principaux cours d'eau (où les prélèvements en nappe sont assimiliés réglementairement à des prélèvements en rivière), redessiner les "casiers hydrogéologiques" permettant de sectoriser la gestion de la nappe alluviale, calculer dans chaque casier les Volumes Prélevables Admissibles (VPA) en fonction de divers scénarios climatiques annuels et mettre à jour l'outil de gestion (basé sur l'utilisation d'EXCEL) permettant de vérifier l'adéquation entre les VPA et les volumes demandés par les irrigants, afin de pouvoir organiser une gestion intégrant trois étapes : demande d'autorisation, autorisation effective et contrôle en début de période d'irrigation.



Modèle Tarn-et-Garonne : piézométrie, calage de chronique, outil de gestion, choix du casier.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

OBSERVATOIRE DE LA RISLE MOYENNE : ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES KARSTIQUES, IMPACTS SUR L'EAU POTABLE, LES INTERACTIONS EAUX DE SURFACE / EAUX SOUTERRAINES ET CONSÉQUENCES SUR LES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES

La Risle est une rivière située dans le département de l'Eure en Normandie. Suite à l'engouffrement de cette rivière dans une bétoire (doline ou effondrement karstique) qui s'est ouverte en juillet 2012, créant un assec sur 12 km en aval, il a été décidé de mettre en œuvre un observatoire de la Risle afin de collecter des données et de pouvoir mettre en œuvre des actions correctives pertinentes dans le respect de l'équilibre des différents usages et des écosystèmes en place.

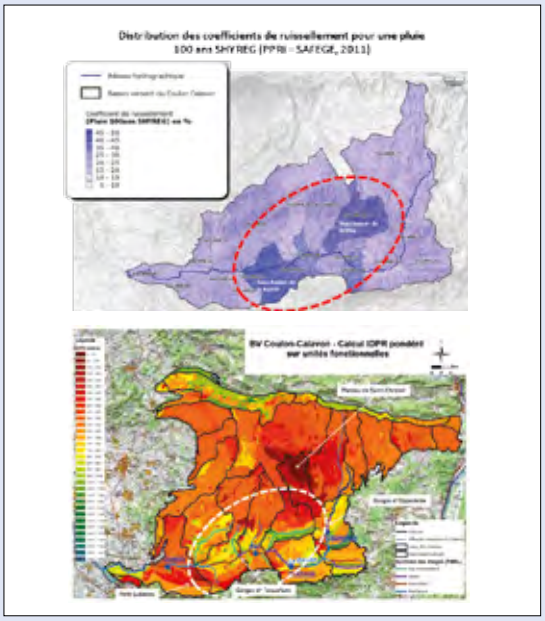
L'objectif de cet observatoire est de mieux connaitre le fonctionnement de l'hydrosystème de la Risle, tant d'un point de vue hydrologique qu'en termes d'impacts de son fonctionnement sur les écosystèmes aquatiques et sur les différents usages de l'eau. L'amélioration de la connaissance doit permettre de mieux orienter les décisions futures en termes d'aménagement du bassin et également d'être plus réactif pour apporter des réponses lors de l'ouverture de nouvelles bétoires.

Bétoire ouverte à Ajou en 2012 et Assec de la Risle sur 12 km.
© BRGM

RÔLE DU KARST DE FONTAINE DE VAUCLUSE DANS L'ORIGINE DES CRUES DU BASSIN DU CALAVON-COULON

La contribution des eaux souterraines pose de réels problèmes opérationnels pour la prévision des crues sur les bassins karstiques. C'est notamment le cas du bassin du Calavon-Coulon à Oppède (1 000 km²) qui draine une partie de l'impluvium du karst de la Fontaine de Vaucluse. L'étude de ce bassin, conduite en 2016 en partenariat avec le SCHAPI , a eu pour objectif d'améliorer la compréhension du rôle du karst sur la genèse des crues en vue d'améliorer les modèles de prévision utilisés au Service de Prévision des Crues Grand Delta (SPC GD).

L'analyse des données hydrologiques et hydrogéologiques indique que le débit à la Fontaine de Vaucluse est l'indicateur de l'état de saturation "moyen" du bassin qui doit être privilégié par rapport à l'indice d'humidité du sol (Hu Sim) utilisé jusqu'alors. Les résultats du modèle pluie-débit indiquent une amplification d'un facteur 2 à 4 sur les zones ruisselantes, des crues par contribution de zones karstiques lors des crues extrêmes. Ces résultats montrent que le karst contribue de façon significative aux crues les plus fortes du bassin du Calavon-Coulon, ce qui a permis de proposer des préconisations au SPC GD en vue d'optimiser ses prévisions.



Évidence de fortes contributions aux crues (distribution des coefficients de ruissellement en haut) de sous-bassins majoritairement contrôlés par des formations infiltrantes karstiques (IDPR en bas).
© BRGM

CARACTÉRISATION DES MÉCANISMES DE TRANSFERT NAPPES-RIVIÈRES SUR L'ÎLE DE BASSE-TERRE EN GUADELOUPE

Les relations nappes-rivières se définissent par les échanges entre une nappe d'eau souterraine et un cours d'eau. Suivant le niveau de la ligne d'eau et les saisons, la nappe alimente le cours d'eau ou est alimentée par celui-ci. Actuellement, ces interactions entre les cours d'eau et les aquifères restent particulièrement mal connues à la Guadeloupe.

Cette étude, finalisée en 2016, s'inscrit dans le cadre de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE). Elle s'intéresse à l'île volcanique de la Basse-Terre et a pour objectif d'étudier les relations entre les masses d'eau superficielles et souterraines de l'île, de quantifier la contribution des nappes au soutien d'étiage de rivières à forts enjeux et de proposer des recommandations permettant d'optimiser la gestion quantitative des eaux superficielles et souterraines actuellement exploitées. Les premiers résultats, basés sur des observations de terrain et des mesures *in situ* le long de tronçons hydrographiques, montrent que les dix rivières prospectées sont sujettes à des contributions d'eau de nappe à différents degrés, et ce en fonction de différents facteurs : nature géologique des terrains volcaniques en place, degré de fracturation, de fissuration et d'altération des roches ou encore influence d'un système hydrothermal à l'instar de celui du massif volcanique de la Soufrière.

Ces premières conclusions seront précisées (programme 2016-2018) en appréhendant les échanges nappes-rivières reconnus par l'application de méthodes adaptées au contexte local : jaugeage au sel et utilisation de traceurs isotopiques notamment.

Prospections hydrogéologiques sur la rivière de Saint-Louis, sud-ouest de l'île volcanique de Basse-Terre.
© BRGM

RESSOURCES MINÉRALES

La carrière de grès rose de Champenay (Bas-Rhin, 2007).
© BRGM

Les matières premières d'origine minérale (minerais, roches et minéraux industriels) sont des intrants essentiels à la plupart des activités économiques nationales et aux besoins d'aménagement du territoire.

L'axe "Ressources minérales primaires et secondaires" considère le cycle complet des matières minérales non énergétiques :

- collecte, numérisation et diffusion des données sur le potentiel et la gestion durable des matières premières minérales primaires et secondaires, en considérant l'ensemble de la filière ;
- appréhension de nouveaux modèles de gisements, avec une attention particulière sur les métaux en traces, négligés par le passé ;
- poursuite du développement d'outils consacrés à la gitologie prédictive et à l'exploration des gisements cachés et mise au point de procédés permettant une extraction "douce" des matières minérales issues des ressources primaires ou secondaires ;
- accompagnement des industriels français dans leur compétitivité, par le développement de concepts originaux pour optimiser le cycle de l'usage des matières minérales, et de l'autorité publique dans ses décisions.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes "Ressources minérales et filières d'approvisionnement" et "Écotechnologies des matières premières minérales et de recyclage".

66
RESSOURCES MINÉRALES ET FILIÈRES D'APPROVISIONNEMENT

69
ÉCOTECHNOLOGIES DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES ET DE RECYCLAGE

70
PROJETS REMARQUABLES

RESSOURCES MINÉRALES ET FILIÈRES D'APPROVISIONNEMENT

Ce programme s'articule autour d'actions de collecte des données sur les ressources minérales, de numérisation des collections patrimoniales du BRGM et de mise à disposition des informations : cartographie et caractérisation des ressources alimentent des référentiels d'informations techniques et économiques au service des stratégies régionales et nationales de valorisation des gisements.

Il vient en appui aux services centralisés et décentralisés de l'État, par la valorisation du patrimoine minier français (Ministères chargés de l'Environnement et de l'Industrie en particulier), l'évaluation et la gestion de l'impact de l'activité des carrières sur l'environnement, avec des interventions dans le cadre des schémas des carrières (DREAL) et la politique de la gestion des matériaux au niveau départemental ou régional.

L'expertise du BRGM lui permet d'intervenir en appui aux politiques nationale et européenne. Il participe, par exemple, à la mise en place d'une politique nationale sur les ressources minérales dans le cadre du Comité pour les Métaux Stratégiques (COMES) et à l'initiative Matières Premières de la Commission européenne qui requièrent l'appui d'experts sectoriels. D'autres actions, d'un périmètre plus limité, sont aussi menées dans le cadre d'expertises de dossiers miniers nationaux, en relation avec le Bureau de la gestion et de la législation des Ressources Minérales non énergétiques du Ministère chargé de l'Environnement.

RÉEXAMEN ET VALORISATION DU POTENTIEL MINIER FRANÇAIS EN MÉTROPOLE : CATALOGUE HIÉRARCHISÉ DES ANOMALIES POLYMÉTALLIQUES

Anomalies géochimiques

Suite aux actions engagées entre 2013 et 2015, l'ensemble des anomalies géochimiques de première importance (anomalies A1) est consolidé en 2016 sous la forme de fiches individuelles descriptives ***(Fig.22)***. Sont concernées les 28 anomalies du Livradois-Forez et du Morvan dans le Massif central, les six anomalies des Vosges, les quatre anomalies des Alpes du Nord, les trois anomalies du Mercantour, les quatres anomalies des Maures Estérel et enfin les sept anomalies localisées en Corse. Après une description synthétique du contexte géologique et métallogénique des grandes unités constituant ces massifs, chaque anomalie fait l'objet d'une fiche prenant en compte les données géologiques, géochimiques, alluvionnaires et métallogéniques de l'environnement proche pour en authentifier l'intérêt. 35 anomalies sont reconnues très intéressantes ; elles correspondent très souvent à des zones déjà bien connues et explorées, 75 sont de seconde priorité et justifient d'une reprise de travaux de terrain et 94 sont notées d'intérêt moindre, car souvent associées à des métaux non critiques. Enfin, sept anomalies ne sont pas retenues, souvent liées à des artéfacts analytiques. Quelques anomalies sont modifiées dans leurs contours après cette phase d'analyse ainsi que la base de données associée et le catalogue.

Un tableau récapitulatif général résume ces résultats et fait la relation avec les anomalies géophysiques, les fiches de cibles minières et les PER éventuellement associés à ces anomalies.

Anomalies géophysiques

Les anomalies magnétiques issues des levés aéro-géophysiques récents sont également l'objet d'une analyse individuelle. 29 d'entre elles sont reconnues de première priorité et 37 de deuxième priorité. 19 anomalies sont sous couverture et deux clairement d'origine anthropique. Les anomalies spectrométriques, d'intérêt beaucoup plus local sont aussi l'objet d'un examen individuel pour les plus contrastées.

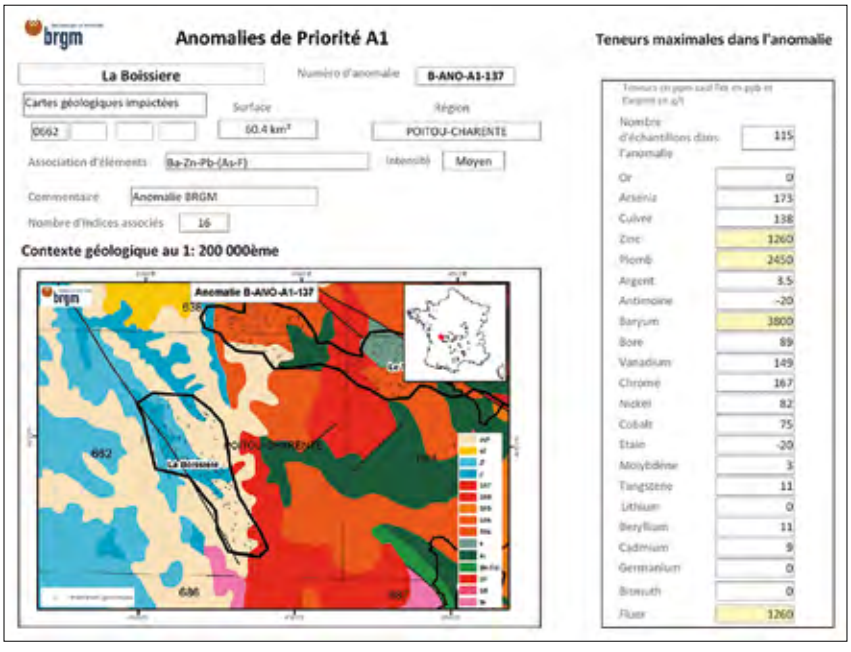
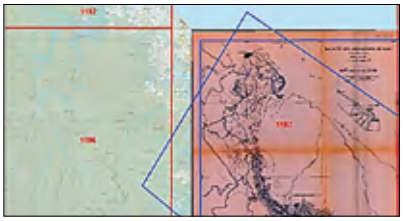


***Fig. 22** - Fiche d'une anomalie de priorité A1.*

Fig. 23 - Mise en ligne des données du secteur Vendée-Bretagne sur Mineralinfo.

Fig. 24 - Géoréférencement d'anciens plans miniers guyanais préalablement numérisés (en bleu : emprise de plans déjà géoréférencés).



PROMOTION DES DISTRICTS MINIERS MÉTROPOLITAINS

Cette action se décompose en deux phases :

- Une première phase, à l'échelle de la province métallogénique, pour conduire les études de favorabilité/prédictivité. Le choix de cette échelle de travail est guidé par la nécessité d'avoir un jeu de données et/ou de paramètres assez large, afin que l'étude de prédictivité repose sur un nombre de références suffisant.
- Une deuxième phase, à l'échelle du district, qui est un sous-ensemble de la province métallogénique.
  Les actions de première phase sont conduites pour rechercher les zones favorables à la présence de minéralisation en antimoine (Sb) dans le Massif armoricain et en tungstène (W), or (Au) et germanium (Ge) dans les Pyrénées.
  Pour les actions de deuxième phase, le district à antimoine du Semnon, en Bretagne, fait l'objet d'une monographie individuelle intégrant les résultats de l'étude de prédictivité.
  Après présentation au Ministère chargé de l'Environnement (DGALN/DEB) et validation, les résultats concrétisés dans des rapports promotionnels sont destinés à la plus large diffusion possible et ont donc vocation à être mis en ligne sur le site Minéralinfo, avec la publicité *ad hoc*.

INFORMATISATION DE LA DOCUMENTATION MINIÈRE NON PUBLIÉE

L'objectif principal de cette action est d'informatiser les résultats enregistrés dans des rapports d'études techniques non publiés ainsi que les cartes et plans des documents produits par les anciennes divisions minières du BRGM.

Depuis 2014, cette action est systématisée dans le cadre du Projet BRGM CADI (Catalogage et Archivage des Données de l'Inventaire minier). En 2015, le dépouillement des archives de l'ancienne Division Minière Vendée-Bretagne détenues à la Direction régionale Pays de Loire du BRGM, à Nantes, avait été achevé.

En 2016, les activités suivantes sont menées :

- mise à disposition du public, via le portail Minéralinfo, d'environ 10 000 données sélectionnées dans les archives de l'ancienne Division Minière Vendée-Bretagne (logs et coupes de sondages, cartes diverses, rapports) ***(Fig.23)*** ;
- remise à la mission centrale des archives du BRGM de la totalité de la documentation de cette ancienne division minière ;
- traitement des archives de l'ancienne division minière Limousin ;
- rapatriement des archives de l'ancienne division minière Auvergne.

INFORMATISATION DE LA DOCUMENTATION MINIÈRE NON PUBLIÉE GUYANE

Prévu sur deux ans, ce projet a permis de réaliser en 2016 :

- l'identification, le traitement, la numérisation, l'indexation et/ou le géoréférencement en base de données ArcGis des documents (plans, logs et coupes, rapports, notes...) de 40 boites d'archive sur les 90 recensées ***(Fig.24)*** ;
- l'acquisition d'un scanner en format A1 pour la numérisation de documents papier ;
- l'achat de deux containers de stockage d'échantillons et de carottes de terrains ;
- la formation du personnel aux procédures d'archivage définies dans le cadre du projet CADI.

APPUI MINES GUYANE

L'objectif de cette action est d'apporter à la filière minière de Guyane un appui scientifique et technique concernant les différentes phases qui structurent l'exploitation aurifère en Guyane, à savoir la prospection, l'exploitation et la remise en état des sites.

En 2016, les travaux portent sur le recensement documentaire et bibliographique ***(Fig.25)*** de différentes techniques disponibles en matière de prospection minière (focalisé sur les techniques de prospection non invasive). L'objectif est de comparer et hiérarchiser ces outils en fonction de leur faisabilité technique et économique. Ce recensement est réalisé à partir d'entretiens conduits en Guyane auprès des opérateurs ayant testé différentes techniques de prospection pour les gisements primaires et alluvionnaires. En complément, un questionnaire comportant 17 questions est transmis par courriel, à l'ensemble des entreprises connues du Pôle Technique Miner de Guyane (PTMG) et disposant d'une adresse numérique (environ 80).

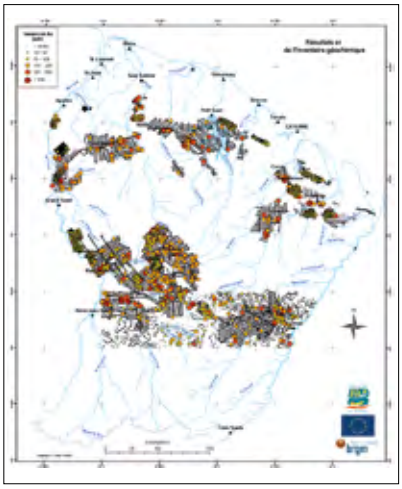


Fig. 25 - Carte des prospections de l'Inventaire minier et ses découvertes aurifères. © BRGM

En parallèle à ces entretiens, une campagne de prospection est suivie et plusieurs visites de mines sont effectuées.

L'ensemble de ces actions permet de confirmer et de préciser les problèmes rencontrés lors des phases de prospection. Cet état des lieux sert de préalable à la mise en place d'un guide de bonnes pratiques. Ce guide s'articule selon quatre axes majeurs : une sélection raisonnée du site, un plan d'échantillonnage efficace, une méthode d'échantillonnage adaptée et une bonne maîtrise des moyens de séparation de l'or.

APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES

La politique nationale sur les ressources minérales, dans le cadre des travaux du Comité pour les Métaux Stratégiques (COMES) et son développement en relation avec l'initiative Matières Premières de la Commission européenne, requiert l'appui d'experts sectoriels, dont ceux du BRGM. Ces appuis se font en relation avec le Bureau des Ressources Minérales du Ministère chargé de l'Environnement, notamment dans le cadre d'expertises de dossiers miniers.

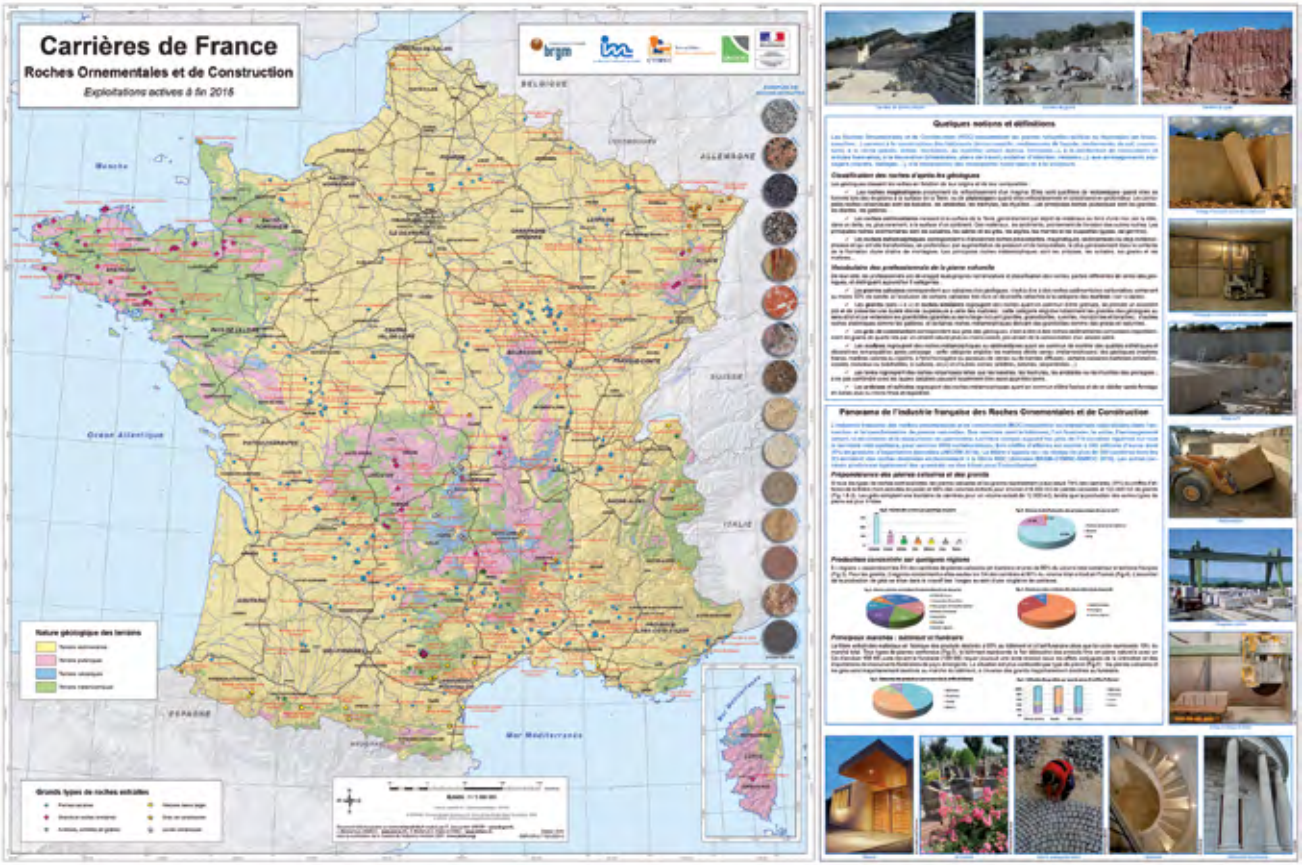


Fig. 26 - Carte des carrières de France, roches ornementales et de construction, 2016. © BRGM, SIM, CTMNC, SNROC, Ministère chargé de l'Environnement

Fig. 27 - Gisements et exploitations de sables industriels en Aquitaine.

BASE DE DONNÉES "CARRIÈRES ET MATÉRIAUX"

Les principaux travaux réalisés en 2016 visent :

- la mise à jour des données de carrières sur l'ensemble de la métropole ;
- la finalisation du nouvel outil de saisie "CARMA" (CARrières et MAtériaux) : des évolutions, dont un module d'export (Excel, Statistique, par fiche, SIG) y sont intégrées ;
- l'élaboration, en complément à la base de données, de cinq fiches méthodologiques (en partenariat avec l'UNICEM, les DREAL, les CERC et les syndicats professionnels - FFB). Les thèmes de ces fiches portent sur la définition des bassins de consommation, un retour d'expérience sur le traitement de données de recyclage et les moyens d'optimiser l'usage de ces données dans le Schéma Régional des Carrières (SRC).

En 2016, une carte de France des carrières de Roches ornementales et de construction en activité est également réalisée en partenariat avec la Société de l'Industrie Minérale (SIM), le Syndicat National des Industries de Roches Ornementales et de Construction (SNROC), le Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC) et le Ministère chargé de l'Environnement ***(Fig.26)***.

Cette carte est diffusée au congrès de la SIM à Grenoble (450 exemplaires distribués). Elle complète la collection en cours des carrières en activité.

MÉMENTOS ROCHES ET MINÉRAUX INDUSTRIELS

Le mémento "Silice industrielle" est finalisé en 2016 et mis en ligne sur Minéralinfo ***(Fig.27)***.

Concernant les carbonates calciques et magnésiens et produits dérivés à usage industriel et agricole, la synthèse des données collectées via un questionnaire auprès de la profession et le recueil de celles issues d'autres sources d'informations (revues spécialisées, sites web de producteurs et de syndicats professionnels...) se sont poursuivis. Compte tenu de la masse de données à traiter et de nouvelles informations concernant à la fois les sociétés productrices (carbonates, chaux, dolomie) ainsi que celles sur les nombreux débouchés des matériaux calcaires (carbonates, chimie, chaux, charges, industrie, agro-alimentaires...), le mémento "Carbonate Industriel" est en cours de finalisation.

ÉCOTECHNOLOGIES DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES ET DE RECYCLAGE

Ce programme s'attache au développement de procédés de valorisation (techniques séparatives, bio-lixiviation, recyclage...) des matières premières primaires et secondaires (minerais et concentrés, déchets de l'industrie extractive, déchets métallurgiques, déchets du BTP, déchets post-consommation...).

Il repose d'une part, sur la connaissance des ressources potentielles (caractérisation des déchets) et d'autre part, sur la conception, le développement et la validation de procédés innovants d'exploitation des ressources primaires et secondaires.

TENEURS EN MÉTAUX RARES DES DÉCHETS MINIERS HISTORIQUES

L'exploitation d'un grand nombre de mines a généré le stockage d'importantes quantités de déchets miniers de natures variées. Certains résidus issus des opérations de traitement de l'exploitation contiennent encore des métaux, et possiblement des métaux rares (gallium, germanium, indium, terres rares, tungstène...), recherchés pour des applications à haute valeur ajoutée. De nombreux échantillons de résidus miniers ont été prélevés dans le cadre de la mise en œuvre de l'inventaire des dépôts de résidus miniers. Un travail sur ces échantillons ainsi que des analyses chimiques focalisées sur la typologie Pb/Zn peuvent ainsi être menés.

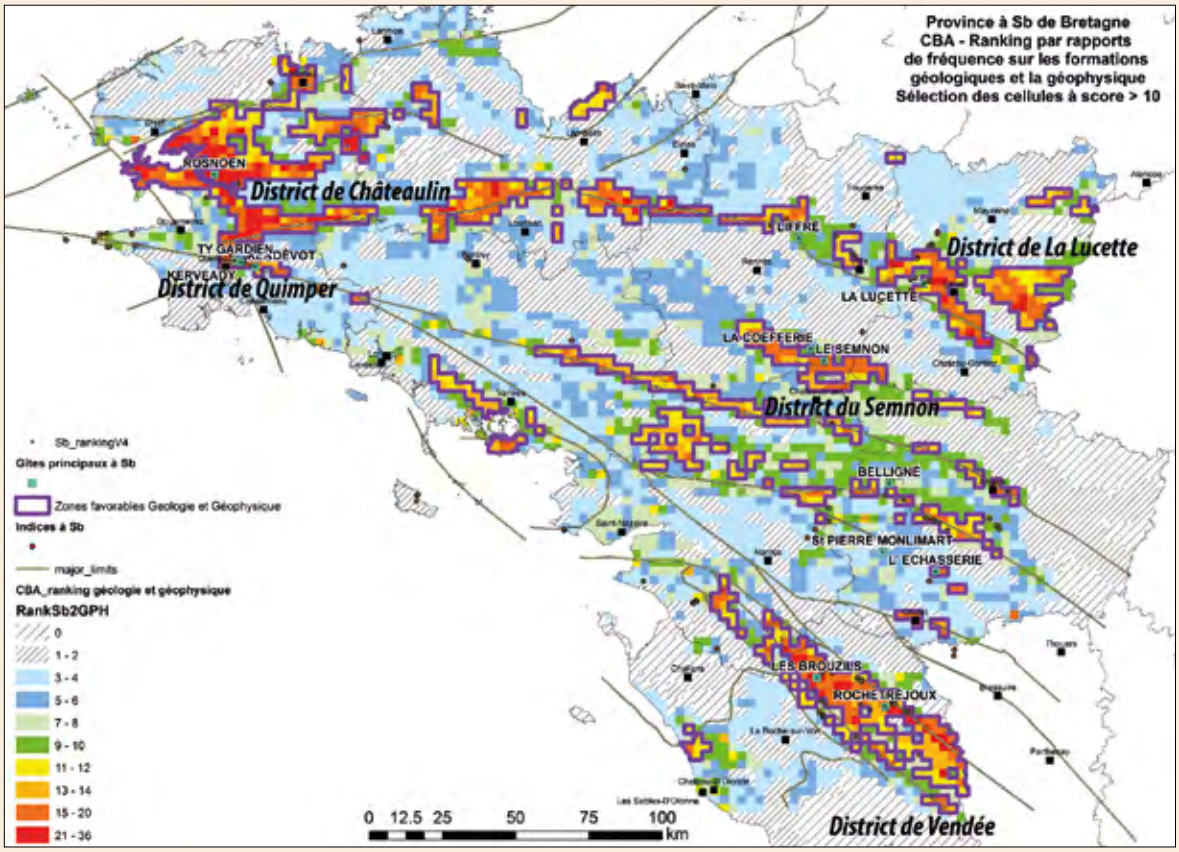
PROJETS REMARQUABLES

L'ANTIMOINE, UN ENJEU MAJEUR POUR LES ACTEURS INDUSTRIELS ET ÉCONOMIQUES FRANÇAIS : L'INTÉRÊT DES MÉTHODES PRÉDICTIVES POUR IDENTIFIER LES ZONES PROMETTEUSES - APPLICATION À LA PROVINCE À ANTIMOINE DU MASSIF ARMORICAIN

Les acteurs publics et économiques ont besoin de disposer d'une information complète et actualisée sur les potentialités du territoire national en amont des projets d'exploration minière. La disponibilité de données géologiques et minières et d'analyses de prédictivité constitue un élément essentiel pour déclencher des investissements dans la recherche de ressources minérales primaires.

Le BRGM, depuis 2010, contribue ainsi à la revalorisation du potentiel minier français, avec de nombreuses études réalisées avec le soutien du Ministère chargé de l'Environnement et mises à disposition sur Minéralinfo (www.mineralinfo.fr).

Parmi les métaux stratégiques ayant, en métropole, un potentiel sous la forme de gisements encore à découvrir, l'antimoine et le tungstène, classés critiques par l'Union européenne, occupent une place de choix. Le BRGM a réalisé une étude du potentiel en antimoine du Massif armoricain, la plus importante province métropolitaine pour cette substance, au moyen de plusieurs techniques de prédictivité. Elles ont confirmé le potentiel des deux principaux districts historiques connus et également mis en évidence le fort potentiel, nettement sous-évalué jusqu'alors, de deux autres districts : Le Semnon (Ille-et-Vilaine) et Châteaulin (Finistère).



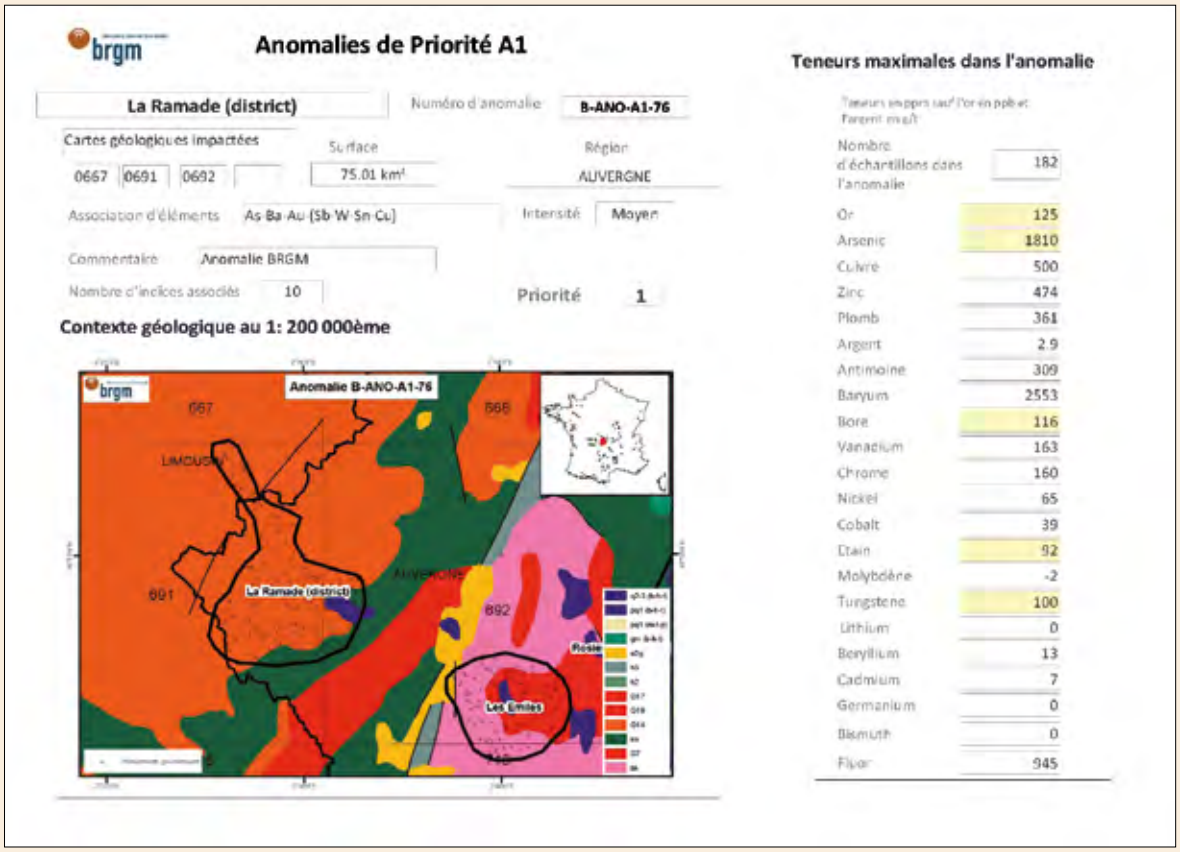
Sélection des zones les plus favorables à la présence de minéralisations à antimoine estimées par des méthodes prédictives (CBA ici) couplant des paramètres lithostratigraphiques et géophysiques.
© BRGM

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

STRATÉGIES RÉGIONALE ET NATIONALE DE VALORISATION DES GISEMENTS MINIERS EN FRANCE MÉTROPOLITAINE: RÉEXAMEN ET VALORISATION DU POTENTIEL MINIER

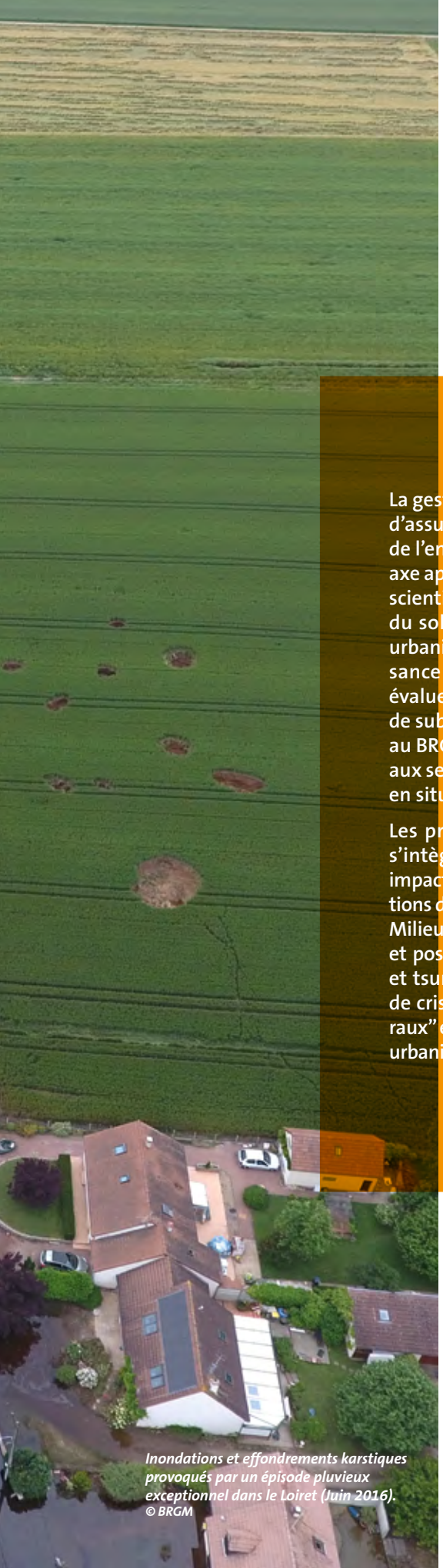
La reprise des données de l'inventaire géochimique du territoire métropolitain engagée en 2013 a permis l'analyse de 211 anomalies géochimiques de premier ordre (anomalies A1).

Chaque anomalie fait désormais l'objet d'une fiche qui prend en compte les données géologiques, géochimiques, alluvionnaires et métallogéniques de l'environnement proche, ce qui permet d'affiner la pertinence du catalogue des anomalies polymétalliques. Les anomalies magnétiques issues des récents levés de géophysique aéroportée font également l'objet d'une analyse individuelle et permettent de recenser les anomalies de première importance. Les anomalies spectrométriques, d'intérêt plus local, complètent cet examen individuel pour les plus contrastées cependant qu'un certain nombre n'a pas de valeur pour la recherche minière.



Exemple de fiche pour une anomalie de priorité A1.
© BRGM

RISQUES ET IMPACTS



Inondations et effondrements karstiques provoqués par un épisode pluvieux exceptionnel dans le Loiret (Juin 2016). © BRGM

La gestion et la maîtrise des risques permettent d'assurer la sécurité des hommes, des biens et de l'environnement. Les travaux relevant de cet axe apportent des réponses aux problématiques scientifiques et sociétales liées aux instabilités du sol et du sous-sol, notamment en milieux urbanisés. Ils visent aussi à améliorer la connaissance et la prévention du risque sismique, et évaluent les aléas et risques côtiers d'érosion et de submersion marine. Ces travaux permettent au BRGM d'apporter son expertise et son appui aux services déconcentrés de l'État, notamment en situation de crise.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes : "Risques et impacts des exploitations du sous-sol et compétitions d'usages", "Instabilité du sol et du sous-sol – Milieux naturels et urbanisés", "Risques miniers et post-miniers", "Risques sismique, volcanique et tsunami", "Préparation et appui à la gestion de crises", "Dynamique côtière et risques littoraux" et "Vulnérabilité et résilience des systèmes urbanisés et impacts du changement climatique".

74
RISQUES ET IMPACTS DES EXPLOITATIONS DU SOUS-SOL ET COMPÉTITIONS D'USAGES

74
INSTABILITÉ DU SOL ET DU SOUS-SOL – MILIEUX NATURELS ET URBANISÉS

76
RISQUES MINIERS ET POST-MINIERS

78
RISQUES SISMIQUE, VOLCANIQUE ET TSUNAMI

80
PRÉPARATION ET APPUI À LA GESTION DE CRISES

83
DYNAMIQUE CÔTIÈRE ET RISQUES LITTORAUX

88
VULNÉRABILITÉ ET RÉSILIENCE DES SYSTÈMES URBANISÉS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

90
PROJETS REMARQUABLES

RISQUES ET IMPACTS DES EXPLOITATIONS DU SOUS-SOL ET COMPÉTITIONS D'USAGES

Le sous-sol est à la fois un espace et une ressource qui va être de plus en plus sollicité dans les années à venir en lien notamment avec la nécessaire transition énergétique.

Aux exploitations existantes – tels les stockages de gaz naturel ou la géothermie – s'ajouteront demain les stockages (dont de CO_2) et les exploitations innovantes de vecteurs énergétiques. Il y a donc un enjeu fort à démontrer que ces exploitations peuvent se faire sans impact majeur sur l'homme et sur l'environnement. C'est un élément crucial pour obtenir la confiance de la société envers les technologies valorisant le sous-sol. Le développement des usages du sous-sol fait aussi craindre des conflits potentiels, qu'il faut pouvoir identifier et anticiper.

Le BRGM, par son statut d'établissement public, est un acteur indépendant, à même de fournir une expertise scientifique permettant d'éclairer les débats locaux (autour d'un site) ou nationaux (sur une technologie en général). Les outils et les méthodes développés depuis 2006 autour des recherches sur le stockage géologique de CO_2 peuvent être appliqués à tout type d'exploitations du sous-sol pour réduire les risques et limiter les impacts.

En 2016, le BRGM a poursuivi les travaux entamés auprès de la DRIEE Île-de-France afin d'évaluer le risque potentiel que représentent les forages profonds du Bassin parisien sur les ressources en eau stratégiques. Pour cette étude, démarrée en fin d'année 2015 et qui s'achèvera en 2017, le BRGM est accompagné par sa filiale CFG qui apporte son expertise spécifique sur l'évaluation des cimentations des forages.

Les travaux de cartographie des risques liés à la réalisation de forages pour la géothermie dite "de minime importance" se sont poursuivis. Après l'Alsace et la Lorraine en 2014, les régions Rhône-Alpes et Limousin en 2015-2016, les régions Aquitaine, Île-de-France et Centre-Val de Loire sont en cours de réalisation.

Enfin, le BRGM poursuit sa participation au processus de création d'une norme ISO sur la technologie de captage, transport et stockage de CO_2.

INSTABILITÉ DU SOL ET DU SOUS-SOL – MILIEUX NATURELS ET URBANISÉS

Les aléas gravitaires concernent les glissements de terrain, les coulées de boue, l'érosion des sols, les chutes de blocs, les effondrements de falaise, les effondrements liés à la présence de cavités souterraines et le retrait-gonflement des sols argileux.

Le développement de la connaissance des phénomènes, des outils et des méthodes permet ainsi d'apporter aux acteurs de l'aménagement du territoire (publics ou privés) et de la prévention/gestion des risques (Ministère chargé de l'Environnement, DREAL/DEAL, DDT(M), collectivités) les réponses à leurs principales problématiques. Il contribue également au développement des systèmes d'alerte et de surveillance à mettre en place pour mieux gérer le risque lié à ces aléas.

L'activité d'appui aux politiques publiques du BRGM s'est largement positionnée en 2016 sur des actions scientifiques et techniques (assistance à maîtrise d'ouvrage, expertises ponctuelles), sur de l'acquisition de données nécessaires pour alimenter notamment des bases existantes, sur la production de cartographie d'aléas et de risques de territoires à différentes échelles, sur le développement et le dimensionnement d'outils de surveillance et sur la production d'études méthodologiques pour la compréhension et la caractérisation du risque.

De nombreux projets répondant à ces objectifs ont été réalisés en 2016. Ainsi le BRGM a, en particulier, développé ses activités dans la thématique de l'aléa retrait gonflement des argiles (RGA) en continuant à caractériser et suivre en continu ce phénomène sur le site de Chaingy et en réalisant une étude avec CCR (Caisse Centrale de Réassurance) sur l'analyse de l'incertitude spatiale des cartes d'aléas RGA à partir de données de sinistralité.

Par ailleurs, le BRGM a apporté une contribution significative à l'inventaire de mouvements historiques (de 1800 à 1945), en recensant 114 mouvements de terrain d'origine naturelle, répartis sur 17 départements, sur la base d'une sélection de titres de la presse nationale, approfondie ensuite par la consultation de la presse locale/régionale.

Quelques projets significatifs sont présentés ci-dessous.

ÉVALUATION DES ALÉAS LIÉS AUX CHUTES DE BLOCS, GLISSEMENTS DE TERRAIN ET COULÉES DE BOUE SUR LA COMMUNE DE HOMBOURG-HAUT (DÉPARTEMENT DE LA MOSELLE)

Dans le but de mieux prendre en compte les risques dans l'aménagement, la Direction Départementale des Territoires de la Moselle (DDT57) s'est appuyée sur le BRGM pour mieux évaluer, sur la commune de Hombourg-Haut, les aléas liés aux chutes de blocs, glissements de terrain et coulées boueuses ***(Fig.28)***.

Cette étude avait pour objectif de réaliser des études détaillées de ces trois phénomènes en suivant une démarche de type expert et d'établir une cartographie pour les aléas "chutes de blocs", "glissements de terrain" et "coulées de boue".

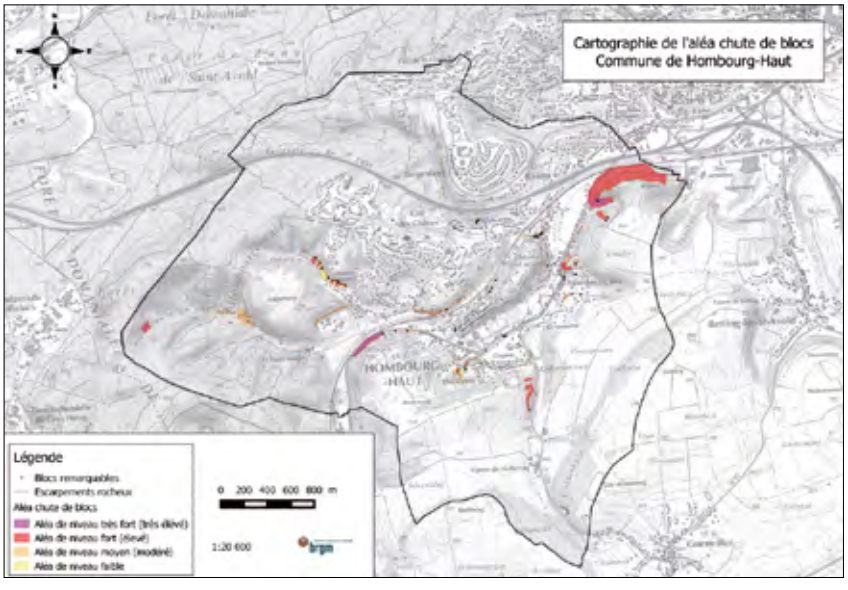
***Fig. 29** - Zone d'intérêt pré-ciblée (contour rouge) vis-à-vis des contraintes morphologiques et topographiques (en bleu : parcelles issues du cadastre, DGFIP 2015 - triangle bleu : PR de la RD48, MNTR®*
© IGN2012 pour les isolignes 5 m en figuré gris clair).

La cartographie de l'aléa chutes de blocs basée sur la méthode MEZAP (MEthodologie de Zonage de l'Aléa chutes de Pierres) a été adaptée au contexte local. La méthode a été notamment ajustée pour tenir compte de l'intensité des blocs. Sur la base de la cartographie de l'aléa, un ciblage des zones à risque a ensuite été réalisé et des propositions de parades ont été formulées. Pour ce faire, la vulnérabilité des enjeux, scindés en deux catégories, "bâtiment" et "voie de communication", a été évaluée. Le croisement des classes d'aléa et de vulnérabilité a, *in fine*, permis de hiérarchiser les zones par priorité de mise en œuvre des solutions de parade.

PROJET DE DÉVIATION DE LA ROUTE DE MARE À POULE D'EAU - ÉTAT DES CONNAISSANCES

Cette étude a concerné un tronçon de route situé sur le territoire de la commune de Salazie (La Réunion), qui traverse un glissement de grande ampleur non maitrisable, impliquant des déformations importantes dans la chaussée et des travaux de restauration réguliers. Par ailleurs, en cas de cyclone ou d'accélération du glissement, la route est susceptible d'être coupée, comme cela a été le cas suite au cyclone Hyacinthe (1980), isolant ainsi les Ilets situés à l'amont. Ce glissement a fait l'objet de nombreuses études et suivis depuis les années 80, avec en particulier, au début des années 90, l'étude d'un projet de déviation sur ce secteur.

***Fig. 28** - Cartographie de l'aléa chutes de blocs sur la commune de Hombourg-Haut.*



Dans ce contexte, le Conseil départemental a sollicité le BRGM pour établir un état des connaissances et apporter des préconisations préliminaires relatives au contexte géologique et géomorphologique de la zone pré-ciblée pour le projet de déviation (versant entre le Pont de la Savane à l'aval et le hameau de la Pointe sur le plateau à l'amont).

Cette analyse s'appuie sur les études antérieures, la connaissance géologique et géomorphologique de la zone d'étude et la prise en compte des risques gravitaires affectant le secteur. Elle a permis de montrer que la solution d'évitement du glissement de grande ampleur, évoquée depuis 1991 puis à nouveau en 2003, apparaît toujours comme la seule véritable alternative permettant une sécurisation durable de la route. De plus, à partir des différentes contraintes morphologiques et géologiques, une zone d'intérêt a été prédéfinie pour le franchissement du versant et l'atteinte du plateau de Mare à Poule d'Eau ***(Fig.29)***. Ce périmètre reste à préciser en tenant compte des autres contraintes pouvant influencer un tel projet (aspects foncier, environnemental...).

Fig. 30 - Vue générale du réseau de galeries souterraines.

Enfin, vis-à-vis des aspects morphologique, géologique et géotechnique, des recommandations ont été faites, dans l'objectif de préciser l'intérêt de cette zone, lever les incertitudes et préciser un tracé de déviation. L'étude de tracé spécifique ne pourra être menée qu'après avoir :

- réalisé un levé topographique précis (de type lidar) ;
- établi une cartographie géologique fine ;
- relevé les instabilités potentielles du versant ;
- poursuivi le suivi des repères géodésiques déjà installés (projet de recherche MVTerre-2 - 2 bornes), voire implanté de nouveaux repères géodésiques en fonction des morphologies observées suite au layonnage et au levé LIDAR ;
- précisé le contexte géotechnique des formations en place ainsi qu'à faible profondeur et précisé leurs caractéristiques géotechniques.

GALERIES SOUTERRAINES DE PFASTATT - INSPECTION DES OUVRAGES SOUTERRAINS

La ville de Pfastatt se situe sur une colline lœssique au sein de laquelle des réseaux de galeries souterraines, à vocation industrielle et militaire, ont été creusés entre le XVIII^{ème} et le XX^{ème} siècle ***(Fig.30)***. Entre 2002 et 2005, des effondrements majeurs ont affecté la commune de Pfastatt du fait de la présence de ces réseaux de galeries souterraines. Ces événements menacent la sécurité des biens et des personnes. Aujourd'hui abandonnés, ces ouvrages souterrains ne sont pas tous connus ni cartographiés bien que les enjeux en surface soient cependant importants et variés (Établissements Recevant du Public, instituts médicalisés, écoles, logements privés, chaussées et routes...).

Les objectifs de la campagne de diagnostics opérée en 2016 étaient les suivants :

- apprécier les évolutions des ouvrages souterrains depuis 2007 ;
- relever systématiquement les désordres (fissuration, remontée de vide, percements racinaires, etc.) ;
- apporter un avis technique et des recommandations concernant la prévention et la gestion du risque lié à la présence de cavités souterraines sur la commune.

L'étude a révélé que certaines zones voient leur niveau d'aléa diminuer du fait des travaux entrepris, et que d'autres ne montrent pas de signes d'évolution significative depuis les dernières inspections de 2007. Mais des portions de réseau présentent des signes d'évolution négative dans ces zones : les piédroits et les voûtes de l'ensemble des galeries souterraines font l'objet d'érosion importante pouvant, à terme, menacer les enjeux sus-jacents.

Il est ainsi recommandé que les réseaux de galeries souterraines fassent l'objet d'un suivi régulier (inspection à intervalle régulier, à définir pour chaque réseau) et éventuellement de levés complémentaires. Des intervalles de surveillance ont été proposés pour chaque réseau de galeries. Ces recommandations sont réalisées à dire d'expert, à partir des observations effectuées en souterrain ainsi que de la nature et de l'importance des enjeux présents en surface. Elles pourront être réaménagées en fonction des observations réalisées dans le cadre d'un programme de suivi.

RISQUES MINIERS ET POST-MINIERS

Les risques liés aux exploitations minières sont de plusieurs types et leur importance dépend de la nature de l'exploitation (souterraine ou à ciel ouvert) et de la substance exploitée. Les risques environnementaux miniers et post-miniers concernent la gestion des déchets miniers, les produits dangereux, les pollutions des eaux de surface et souterraines, la stabilité des ouvrages, la santé humaine, la qualité de l'air et les écosystèmes.

Ce programme pluridisciplinaire vise à améliorer la compréhension des phénomènes, afin d'assurer une meilleure prévention des risques d'incidents et d'accidents affectant les différents compartiments environnementaux, ainsi qu'une aide à la décision et l'optimisation de la surveillance des ouvrages.

Ce programme bénéficie aux acteurs de la mine et de l'après-mine (services de l'État, GEODERIS, DPSM, etc.) qui acquièrent ainsi les éléments nécessaires à la connaissance et à la gestion des ouvrages de surface ou souterrains.

ÉTUDES POUR GEODERIS

Les actions 2016 d'appui aux politiques publiques se sont principalement déroulées dans le cadre de l'appui à l'État pour la gestion de l'après-mine, par une activité d'expertise et d'appui méthodologique réalisée en concertation avec le Groupement d'Intérêt Public GEODERIS, qui associe le BRGM et l'INERIS. Les actions conduites par GEODERIS en 2016, dont plus de 80 % relèvent d'études environnementales et sur les aléas, sont pour la plupart pluriannuelles. Elles apportent une expertise dans la gestion de l'après-mine pour la DGPR et les DREAL concernées (intégration des aléas miniers aux PLU, PPRM) et contribuent à la constitution de bases de données consolidées.

Une partie des activités de l'année 2016 a porté sur l'évaluation des mouvements de terrain (dix études d'aléa minier et poursuite et finalisation de six études en cours). D'autres actions ont été menées afin d'actualiser les outils et les bases de données informatiques utilisées (BDSTM : base de données des sites et titres miniers).

Les travaux dans la thématique de l'environnement minier se sont fortement renforcés. On distingue notamment des études réalisées sur des dépôts de résidus miniers dans le cadre de la Directive européenne sur les Déchets de l'Industrie Extractive (DDIE) et concernant dix secteurs miniers.

Une importante étude environnementale a en particulier été menée dans le Gard. Elle a nécessité d'importantes campagnes de terrain et d'études sur documents afin de bien définir le contexte géologique, l'environnement local témoin en contexte anthropique (exploitations minières) et naturellement minéralisé (fortes anomalies plomb, arsenic, zinc et autres métaux et métalloïdes) ainsi que l'étendue des contaminations sur les sols et les sédiments.

Une autre étude environnementale, menée dans l'Allier, s'est intéressée à l'extension des impacts de résidus miniers sur les sols et les sédiments et à la définition de l'environnement local témoin.

Une étude en Corse a permis de poursuivre la caractérisation de l'impact de résidus miniers sur des jardins.

Enfin, la dernière étude environnementale de 2016 a consisté à cartographier des dépôts de résidus miniers de divers âges (des travaux gallo-romains jusqu'à l'époque moderne) sur un vaste secteur minier dans l'Aveyron.

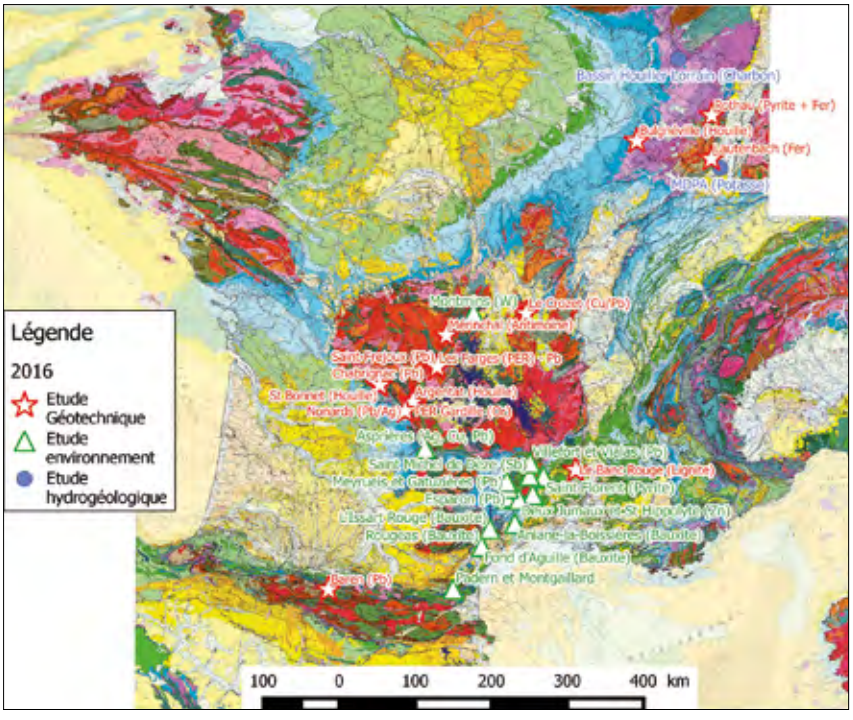
L'étude méthodologique débutée en 2015 sur la détermination de l'environnement local témoin en contexte minier s'est poursuivie. Elle inclut l'utilisation de la fluorescence-X portable couplée avec du micro-Raman de terrain ainsi que l'infrarouge de terrain pour caractériser la composition minéralogique et élémentaire des résidus miniers et des sols impactés.

Des études hydrogéologiques ont également été menées :

- la poursuite de la modélisation de la remontée de la nappe dans le secteur de la Houve (bassin houiller lorrain) ;
- la poursuite et la finalisation de l'examen général de la contamination en chlorures de la nappe d'Alsace (Bassin des Mines de Potasse d'Alsace), incluant une analyse du modèle maillé existant, la recherche des causes d'écart entre concentrations en chlorures simulées et observées, l'interprétation des chroniques de chlorures observées, des recommandations sur le suivi et l'interprétation des données. Ces travaux ont bénéficié d'une campagne géophysique complémentaire à celle de 2014, dont les objectifs étaient de délimiter spatialement des zones polluées par les chlorures et d'identifier une éventuelle stratification des chlorures selon la profondeur. En 2016, les travaux de modélisation, s'appuyant sur les travaux précédents, ont fourni des prévisions réalistes d'évolution de la salinité en aval de chacun des terrils.

La figure suivante présente la répartition des études conduites par GEODERIS selon leur nature et leur implantation géographique sur le territoire français ***(Fig.31)***.

Fig. 31 - Répartition géographique et nature des études réalisées en 2016.



RISQUES SISMIQUE, VOLCANIQUE ET TSUNAMI

L'activité du BRGM en termes d'appui aux politiques publiques a couvert en 2016 aussi bien des appuis scientifiques et techniques (assistance à maîtrise d'ouvrage auprès de la DGPR et des DREAL, expertises ponctuelles), que la production d'études méthodologiques fournissant les éléments nécessaires à la compréhension et à la caractérisation du risque sismique, le développement d'informations et de formations spécifiques pour la bonne implication des acteurs (professionnels du bâtiments et agents territoriaux) et la participation à des groupes d'experts et de réglementation, traitant de l'amélioration de la connaissance de l'aléa et du risque sismique et rédigeant des méthodologies pour sa prévention.

Par ailleurs, suite aux enseignements de la première phase du Plan Séisme, la politique nationale de prévention du risque sismique sur le territoire national (métropole et Outre-mer) a été redéfinie sous la forme d'un Cadre d'actions (CAPRiS) reposant sur quatre priorités hiérarchisées. En particulier aux Antilles, la deuxième phase du Plan Séisme Antilles a été lancée avec l'objectif affiché : "Dans 30 ans, la population antillaise sera protégée à un niveau de risque acceptable vis-à-vis d'un séisme majeur et la mise à niveau des bâtiments et infrastructures nécessaires à cette protection sera réalisée". Quatre axes d'actions sont définis pour répondre à cet objectif. Le BRGM apporte son appui technique à la mise en œuvre de plusieurs études.

Parmi les actions conduites en 2016 par le BRGM :

- Poursuite de la mise à jour régulière du site internet collaboratif Plan séisme (www.planseisme.fr). Début février 2007, ce portail a été mis en place en lien avec le Ministère chargé de l'Environnement dans le cadre du Plan Séisme. Il constitue aujourd'hui un outil majeur d'information et de communication sur la prévention du risque sismique en France. Le volet 2016 a mis l'accent sur la pérennisation de la popularité du site internet par la rédaction régulière d'articles et l'amélioration du contenu existant. Ce site est ainsi devenu une référence incontournable pour quiconque souhaite chercher des informations fiables sur le risque sismique et la politique française en matière de prévention. Sur l'ensemble de l'année 2016, le site aura ainsi compté plus de 200 000 visiteurs, ayant généré près de 415 000 vues.
- Évaluation du bénéfice de renforcement pour les bâtiments appartenant au parc scolaire des Antilles. Un des axes prioritaires du Plan Séisme Antilles concerne les établissements scolaires publics appartenant aux collectivités territoriales, et en particulier les écoles primaires. Pour apporter à l'État des éléments d'aide à la décision quant au renforcement de ces bâtiments, le projet s'est attaché à quantifier le bénéfice apporté par le renforcement de la structure porteuse d'un bâtiment de type poteau-poutre, en fonction du niveau d'accélération retenu (30%, 60% ou 100% de l'accélération règlementaire pour les ouvrages neufs). Deux approches complémentaires ont été mises en œuvre : la simulation des dommages aux bâtiments scolaires en fonction du niveau de renforcement et l'effet du renforcement sur la réduction du risque d'effondrement de ces bâtiments. La phase 2016 de l'étude a consisté à étendre les résultats obtenus en 2015 sur un échantillon d'écoles martiniquaises à 200 écoles réparties sur les deux îles et localisées sur des sols variés. Les résultats montrent que l'impact d'un niveau de renforcement assez limité (à 30% de l'accélération nominale) est déjà très significatif, car il réduit drastiquement le nombre de bâtiments potentiellement endommagés ***(Fig. 32)***.
- Estimation des pertes à l'échelle départementale liées à des scénarios de risque sismique. Le BRGM et CCR (Caisse centrale de réassurance) ont établi un partenariat de recherche collaborative, destiné à estimer les coûts engendrés par les séismes qui seraient couverts dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles (CATNAT). Dans la continuité des travaux menés depuis deux ans, dans le cadre de cette convention quinquennale, sur le bâti à vocation résidentielle, des scénarios de dommages départementaux ont été produits en 2016 pour douze départements situés en zones de sismicité modérée et moyenne ***(Fig. 33*** et ***Fig. 34*** - exemples de résultats intermédiaires obtenus pour un département).

***Fig. 32** - Exemple du renforcement de l'école Roches Carrées au Lamentin (Martinique) par ajout de murs de contreventement dans les deux directions pour rigidifier le rez-de-chaussée et les étages.*
© BRGM - C. Negulescu.

Le modèle BRGM-CCR prend en compte l'aléa (phénomène sismique et effets de site), la vulnérabilité des bâtiments, l'endommagement et les préjudices humains et financiers. Avec les hypothèses considérées et pour les scénarios sismiques

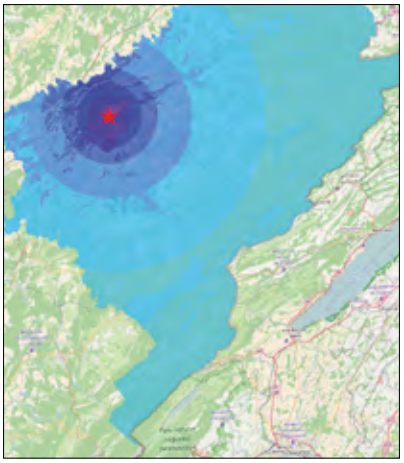


Fig. 33 - Exemple de simulation du mouvement sismique (accélérations) avec effets de site pour un scénario de séisme déterministe dans le département du Doubs.

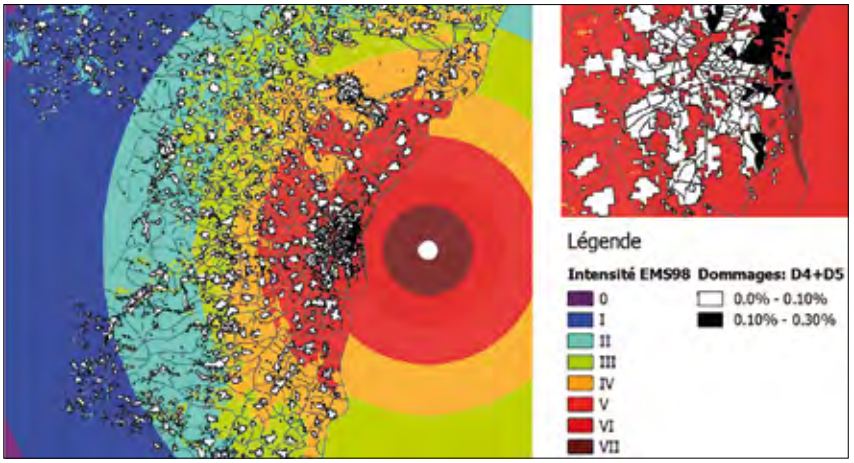


Fig. 34 - Exemple de simulation des effondrements partiels (en blanc) et totaux (en noir) de bâtiments d'habitation pour un scénario de séisme déterministe touchant le département du Bas-Rhin, avec zoom sur l'agglomération strasbourgeoise.

évalués à ce jour, les coûts assurés pour les seuls ouvrages d'habitation pourraient atteindre jusqu'à huit milliards d'euros.

En parallèle, des travaux préparatoires complémentaires concernant les préjudices non couverts par la garantie catastrophes naturelles ont débuté (pertes d'exploitation en raison de ruptures de réseaux ou circuits d'approvisionnement, pertes financières en raison de dommages aux personnes,...). De même, la méthodologie et les typologies des bâtiments qui constituent les zones commerciales, industrielles ou agricoles ont pu être consolidées.

• Cartographie de la submersion liée aux tsunamis pour six communes de Martinique classées en aléa fort. Une cartographie régionale (à l'échelle des Antilles françaises), effectuée en 2007 par le BRGM, avait déterminé les secteurs du littoral martiniquais les plus vulnérables face aux tsunamis. Dans le cadre du Plan Séisme Antilles 2, la DEAL et la Région Martinique ont exprimé le souhait de se doter d'une information plus complète sur les zones potentiellement soumises à la submersion de tsunamis. Ce sont ainsi au total quinze sources tsunamigènes qui ont été identifiées comme les plus probables et les plus dommageables pour la Martinique. Chacune d'elles a fait l'objet de simulations numériques (génération du tsunami, propagation jusqu'à la Martinique, puis submersion à terre jusqu'à une résolution de 30 m). Ces simulations ont permis de dresser des cartes de la submersion à terre susceptible d'être produite par ces tsunamis. Un très fort contraste ressort entre la côte Caraïbes, où la hauteur d'inondation à terre dépasse rarement 2 mètres, et la côte Atlantique où ces valeurs peuvent être beaucoup plus fortes. En particulier, plusieurs quartiers à forts enjeux de la commune de Trinité seraient quasi systématiquement impactés lors de l'occurrence d'un tsunami, et ce quasiment quelle que soit la source. Cette singularité s'explique, entres autres, par la configuration en entonnoir de la baie qui piège l'onde et l'amplifie.

VALORISATIONS RÉALISÉES

Assises Nationales des Risques Naturels, Marseille, du 22 au 23 mars 2016.
Présentation de deux posters :
• Évaluation du risque sismique en région PACA et implications financières pour le régime CATNAT **(Rey J. et Tinard P.)**
• Établissement d'une base de données des intensités historiques extrapolées pour toutes les communes françaises **(Rey J., Auclair S., Monfort D., Douglas J.)**

8ème Biennale du RAP, Guadeloupe, 7 – 9 novembre 2016. Présentation de travaux relatifs aux actions d'appui aux politiques publiques en 2016 :
• Les stations accélérométriques gérées par le BRGM **(Bertil D. et François B.).**
• La sismicité des Antilles **(Bertil D.)** au cours de la réunion publique du 9 nov. 2016 "Pourquoi les maisons s'effondrent-elles pendant un tremblement de terre ?".
• L'importance des microzonages sismiques pour la prévention **(Belvaux M.)** au cours de la réunion publique du 10 nov. 2016 "Vers un aménagement territorial durable parasismique".

Conférence de presse conjointe BRGM-CCR le 18 novembre 2016 : "Le risque sismique : résultats entre science et assurance". Trois chapitres au sommaire du dossier de presse :
Partenariat : étude du coût assurantiel des séismes en France ;
Expertise : élargir la mémoire du risque sismique ;
International : une expertise au service des politiques de prévention des risques.
(http://www.brgm.fr/publication-presse/risque-sismique-resultats-entre-science-assurance)

Suite à cet évènement, plusieurs retombées ont été recensées dans la presse écrite, en ligne ou radio.

PRÉPARATION ET APPUI À LA GESTION DE CRISES

Dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, le BRGM est régulièrement sollicité par des représentants de l'État ou des collectivités locales, lors d'événements menaçant la sécurité des personnes, des biens ou susceptibles d'induire une pollution sur l'environnement. Ces situations requièrent parfois des interventions d'urgence sur le terrain.

Les actions du programme comprennent des appuis en situation de crise (risques naturels, risques miniers, inondations, pollutions accidentelles, etc.) avec mise en œuvre d'expertises techniques fournissant un diagnostic et des recommandations de mise en sécurité. Des missions post-crise et de retours d'expériences sont également effectuées lors d'événements exceptionnels afin d'en tirer des enseignements pour améliorer la gestion de crise et la prévention des risques. À la demande des préfectures, des expertises dédiées à alimenter les dossiers constitués lors d'événements naturels exceptionnels, dans le cadre de l'instruction des demandes de reconnaissance de catastrophes naturelles, sont également réalisées. Elles comprennent, enfin, la capitalisation de l'information pour définir de nouveaux plans de prévention, de nouveaux événements de référence ou des périodes de retour d'événements exceptionnels.

Les interventions sont réalisées dans le cadre de partenariats spécifiques ou dans celui des missions d'appui aux administrations. À ce titre, le BRGM s'efforce de répondre le plus rapidement possible aux demandes, dans un souci prioritaire de service public. Ces interventions sont de nature variable (réunion, avis technique, etc.), n'excèdent pas quelques jours et s'articulent autour de grands thèmes, selon les besoins des administrations : formation, géothermie, information géologique, ressources minérales, risques sanitaires et technologiques, sites et sols pollués, risques naturels, avec une très large prédominance des actions relatives à ce dernier thème (environ 75 % des actions en volume).

En 2016, dans le cadre de l'appui aux administrations, plus de 120 rapports ont été versés aux archives du BRGM ; parmi eux, plus de 80 % touchent à la thématique des risques naturels. Globalement, plus de 70 % des actions sont initiées au niveau départemental, sous l'impulsion des préfectures et/ou des DDT(M). Les DREAL (et DEAL en Outre-mer) complètent la majeure partie des demandes (25 %).

2016 a été marquée par quelques actions notables dans le cadre de l'appui aux administrations :

- Les fortes pluies qui se sont abattues sur la région de Ouangani (Mayotte) le 26 janvier 2016 ont causé de nombreux dégâts, notamment dans les zones habitées ***(Fig.35)***. Face à ce constat, le BRGM, sur demande de la préfecture de Mayotte, via son Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC), a mené un inventaire des désordres engendrés. Les travaux ont consisté en une enquête de terrain et une rencontre des acteurs locaux, la production d'un atlas de dommages, la description des causes des dégâts observés et la proposition de recommandations de gestion des risques résiduels.

Fig. 35 - Ouangani (Mayotte), crues du 26 janvier 2016.
© BRGM

Fig. 36 - Éboulement sur la RN1 PR 9+400 à La Réunion (14/11/2016).
© BRGM

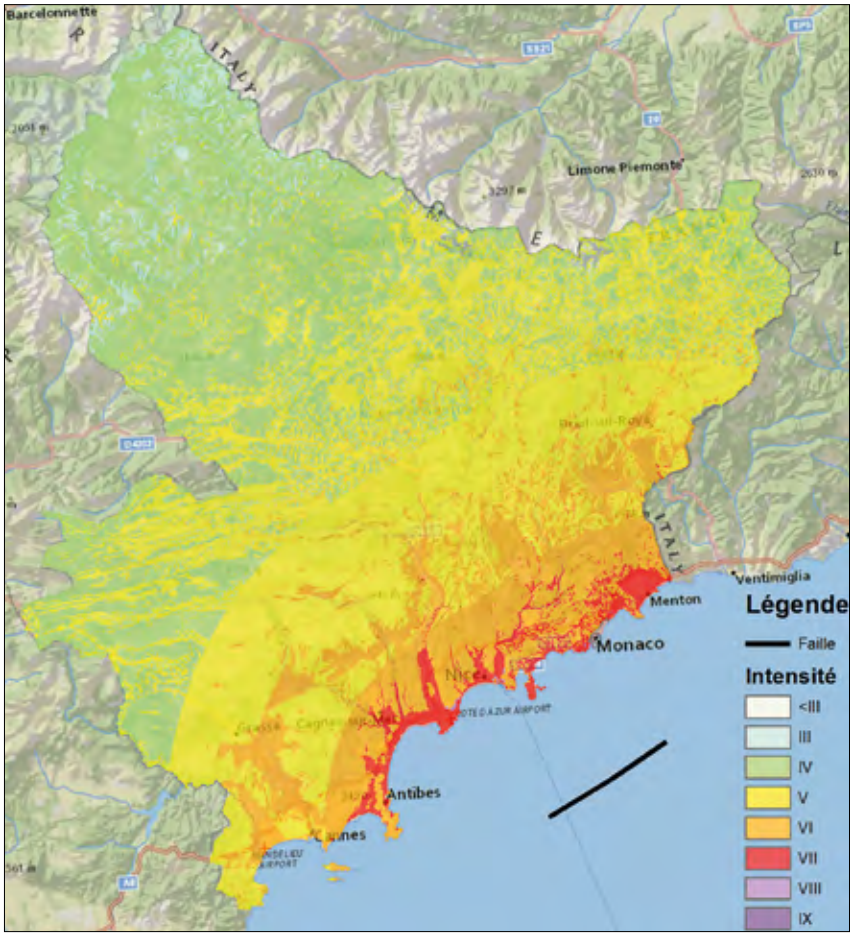


Fig. 37 - Carte figurant l'intensité des secousses sismiques du séisme de scénario.

Fig. 38 - Centre Opérationnel Départemental (COD) en pleine gestion opérationnelle des conséquences du séisme de scénario.

Générale de la Sécurité Civile et de la Gestion des Crises (DGSCGC) du Ministère de l'Intérieur et à la préfecture des Alpes-Maritimes. Il a notamment contribué à l'élaboration de l'exercice, accompagné les services dans sa scénarisation, participé à l'animation pendant les deux jours de l'exercice et joué un rôle d'appui des acteurs concernés à la gestion de crise ***(Fig.38)***.

- Associé à la réalisation des scripts liés aux remontées de nappe de l'exercice de crise EU SEQUANA 2016 ***(Fig.39)***, simulant une crue de la Seine similaire à celle observée en 1910, le BRGM s'est constitué en cellule de crise pour

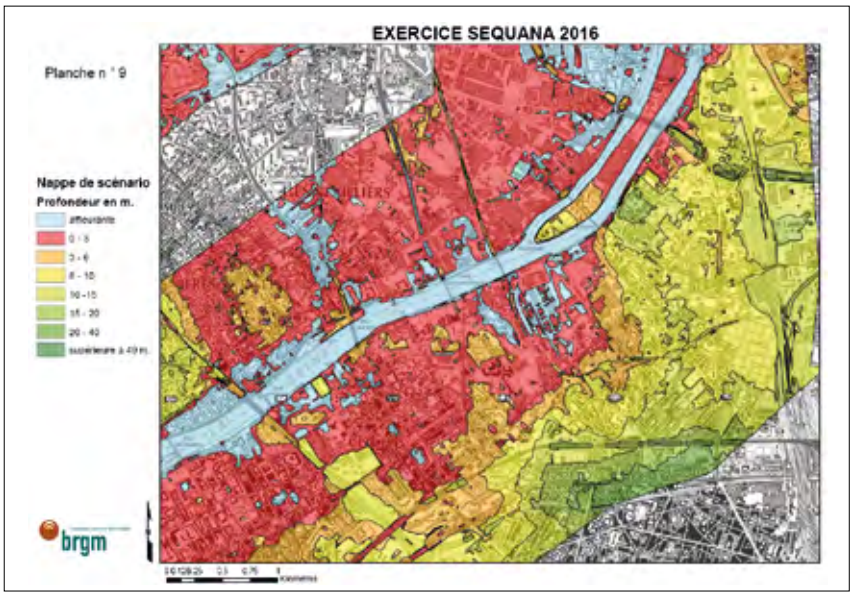


Fig. 39 - Nappe de scénario pour l'exercice de crise EU SEQUANA 2016.
© BRGM

- Des appuis spécifiques aux collectivités se sont poursuivis à La Réunion notamment auprès du Conseil départemental et de la Région avec des interventions d'urgence pour des phénomènes gravitaires impactant le réseau routier ***(Fig.36)***, dans le cadre d'une procédure d'astreinte spécifique (éboulement de novembre 2016 en particulier).

Outre l'appui aux administrations, l'année 2016 a été marquée notamment par le développement de l'implication du BRGM dans la réalisation d'exercices de crise et dans la formalisation de retours d'expériences pour les services de l'État :

- Les 5 et 6 octobre 2016, un nouvel exercice de crise RICHTER a été mené dans le département des Alpes-Maritimes ***(Fig.37)***. Le BRGM a pris une part active à cet exercice en appui à la Direction

Fig. 40 - Effondrements à Gidy liés vraisemblablement à un karst.
© BRGM

répondre aux sollicitations des acteurs de la gestion de crise pendant la durée de l'exercice sur les domaines relevant de ses compétences (inondations par remontées de nappe, mouvements de terrain induits, pollutions du sol et du sous-sol notamment). Cet exercice s'est déroulé du 7 au 18 mars 2016 sous l'autorité et la coordination de la préfecture de Police de Paris en temps réel, phase de crue, pic d'inondation et phase de décrue (https://www.prefecturedepolice.interieur.gouv.fr/Sequana/EU-Sequana-2016).

- Dans le cadre du programme Caribe Wave (exercice annuel du Système d'alerte aux tsunamis et autres risques côtiers de la Caraïbe et des régions adjacentes), un appui a été apporté au SIDPC de la préfecture de Guadeloupe pour préciser les emprises d'inondation selon le scénario de séisme de magnitude 8.5 au Nord-Est des Petites Antilles. Le BRGM participera, en outre, en 2017, à l'exercice en temps réel.
- Suite aux crues historiques ayant impacté le département du Loiret, le BRGM a été mobilisé, au travers de sa cellule de crise, par la préfecture pour apporter son expertise concernant les inondations liées au karst et à l'occurrence d'effondrements de cavités souterraines (naturelles ou anthropiques) dans l'Orléanais. Au total, 109 sites de mouvements de terrain ont été expertisés ***(Fig.40)***. Ces diagnostics ont permis d'orienter les communes et les services du SIDPC quant à la nécessité d'évacuations temporaires des populations et à la mise en œuvre de mesures de première urgence. L'inondation de l'A10 a également impliqué les équipes d'hydrogéologues pour évaluer les évolutions probables de la crue en temps réel et proposer des solutions de remédiation adaptées. Un retour d'expérience de cette crise a été formalisé pour le Ministère chargé de l'Environnement au travers d'un rapport de synthèse.
- Suite à la série de séismes survenue dans le centre de l'Italie, le 24 août 2016 puis les 26 et surtout 30 octobre 2016, qui constitue une crise sismique majeure pour le pays, le BRGM a participé à une mission post-sismique dans la région d'Amatrice. Ces séismes ont en effet eu un impact très important, par le nombre de victimes (environ 10 % de la population de cette communauté rurale) et par les dommages très élevés (intensité X-XI sur l'échelle MCS à Amatrice). Le séisme du 30 octobre de magnitude Mw = 6.5 représente ainsi l'évènement de plus grande magnitude en Italie depuis le séisme d'Irpinia en 1980. Les déplacements co-sismiques en surface (1 à 2 m au niveau de la faille) sont aussi les plus importants observés dans la zone méditerranéenne au cours des dernières décennies. Le BRGM a donc décidé de se joindre à une mission AFPS organisée sur place afin de favoriser les rapprochements interdisciplinaires et d'enrichir son expérience. La proximité entre les contextes français et italien permet en effet de tirer des leçons directement applicables à la question de la prévention du risque sismique en France. En particulier, les observations faites sur le bâti ancien, les techniques de renforcement et de reconstruction suite au séisme de l'Aquila en 2009 alimenteront les travaux de recherche et d'appui aux politiques publiques, sur la vulnérabilité, la mise en place de réglementations plus efficaces et la préparation à la gestion de crise.
- Enfin, le BRGM est intervenu en 2016 sur l'ensemble du territoire national dans le cadre de l'instruction des dossiers techniques de reconnaissance d'état de catastrophe naturelle. À ce titre, 235 expertises ont été menées pour des phénomènes de mouvements de terrain (105) et des problématiques liées aux remontées de nappe (130). En outre, le BRGM a animé, sous l'égide du Ministère chargé de l'Environnement, un groupe national de travail sur l'évaluation des critères de reconnaissance d'état de catastrophe naturelle pour les mouvements de terrain notamment. Il y a également apporté son expertise scientifique.

DYNAMIQUE CÔTIÈRE ET RISQUES LITTORAUX

Les aléas et les risques côtiers (érosion et submersion marine) résultent de phénomènes couplés se produisant à des échelles variées (globale à métrique, événementielle à long terme).

Le programme "Dynamique côtière et risques littoraux" a pour objectif le développement et l'application d'outils et de méthodes destinés à leur évaluation : métrologie, SIG, statistiques d'extrêmes, modélisation, vulnérabilité, etc. Ces travaux répondent aux besoins en connaissance sur la dynamique hydro-sédimentaire des environnements littoraux et des évolutions du trait de côte associées. Ils apportent aussi les connaissances nécessaires à la cartographie des zones à risques, grâce, entre autres, à la modélisation de la submersion côtière en zone urbaine sous l'action conjointe des vagues, marée, surcotes et niveaux d'eau dans les estuaires ou embouchures, ainsi que les calculs de la probabilité d'occurrence associée à ces évènements. Les travaux menés dans ce programme bénéficient aux acteurs de l'aménagement du territoire (publics et privés), de la prévention/gestion des risques, des systèmes de prévision : Ministère chargé de l'Environnement, DREAL/DEAL, DDTM, collectivités locales, entreprises et bureaux d'études,...

En 2016, les études d'aléas submersion marine, entre autres pour les Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL), ont représenté une part significative des activités d'appui aux politiques publiques entrant dans le périmètre du programme scientifique "Dynamique côtière et risques littoraux". Pour certains PPRL, l'aléa recul du trait de côte a été caractérisé. D'autres projets ont porté sur la constitution de bases de données (houle, impact de tempêtes), la caractérisation de conditions hydrométéorologiques pour des études d'aléas ou encore la caractérisation et la modélisation de la dynamique sédimentaire littorale et des phénomènes érosifs. On peut noter aussi la tenue des journées REFMAR auxquelles le BRGM a contribué. Enfin, sur la thématique spécifique de la dynamique côtière, un fait marquant est le démarrage d'un projet sur la dynamique hydro-sédimentaire de la baie de Fort-de-France, mené pour répondre aux besoins de la Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique (CACEM).

Ce projet s'appuie à la fois sur des campagnes de mesures (courants, vagues, turbidité,...) et des travaux de modélisation hydrodynamique (vagues, courants, niveau d'eau) et sédimentaire (mobilité des sédiments).

ALÉAS SUBMERSION MARINE

En 2016, des travaux de caractérisation des aléas submersion marine ont été réalisés par le BRGM, entre autres sur les sites de : Dieppe, Rouxmesnil-Bouteilles, Martin-Eglise, Arques-la-Bataille (Seine-Maritime), Camargue (Gard et Bouches-du-Rhône), Lecci (Corse-du-Sud), Mayotte, bassin d'Arcachon (Gironde) et Hendaye (Pyrénées-Atlantiques).

Certains s'inscrivaient dans le cadre de Plans de Prévention des Risques Littoraux (Dieppe), tandis que d'autres ont été réalisés hors cadre PPRL, en suivant toutefois les recommandations du guide.

Les travaux réalisés sur la Camargue peuvent plus particulièrement être cités comme exemple. En complément des démarches en cours sur la caractérisation de l'aléa submersion marine sur ce territoire, la Direction départementale des territoires et de la mer des Bouches-du-Rhône souhaitait disposer d'une estimation plus fine de l'aléa submersion, via l'utilisation d'un modèle numérique permettant de simuler, de manière précise, les phénomènes de submersion marine le long du littoral de la Camargue.

En effet, les précédentes démarches de cartographie (PPRI Arles, Saintes-Maries-de-la-Mer, Port-Saint-Louis-du-Rhône) s'appuyaient sur une approche statique pour la submersion marine dans laquelle les zones soumises à un aléa submersion marine sont définies comme celles dont l'altitude est inférieure au niveau marin de référence ***(Fig.41)***. Or, dans un tel environnement (surfaces planes, réseaux hydrauliques de drainage, digues-routes, salines, cordon littoral naturel ou artificiel...), la surimposition directe de niveaux marins de référence à la côte sur la topographie (MNT) et leur projection à l'intérieur des terres selon le seul critère du relief entraine une surestimation des surfaces inondables. Il est donc apparu nécessaire de mettre en œuvre des modèles numériques pour simuler la dynamique de la submersion marine (extension de l'inondation, hauteurs d'eau, vitesses des écoulements, entrées d'eau, durée de la submersion).

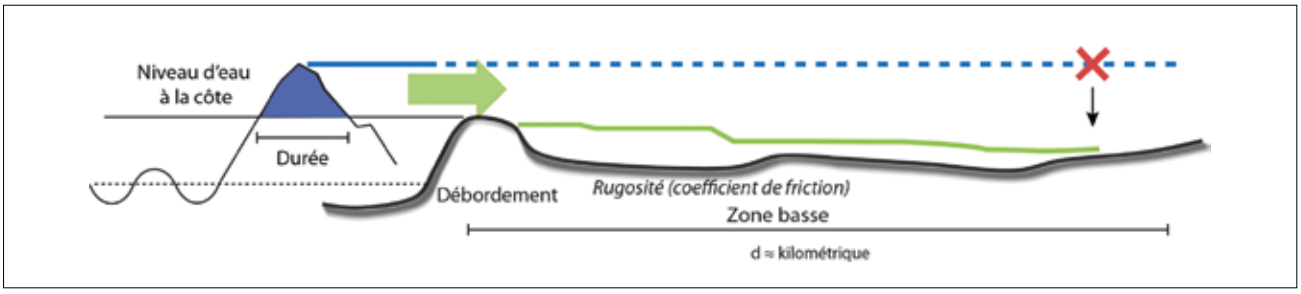


***Fig. 41** - Schéma de principe de la méthodologie employée pour la propagation de la submersion marine par modélisation dynamique. Le niveau marin de référence (bleu continu) n'est pas simplement projeté sur la topographie (bleu pointillé) mais bien propagé suivant une dynamique de submersion (vert).*
© BRGM

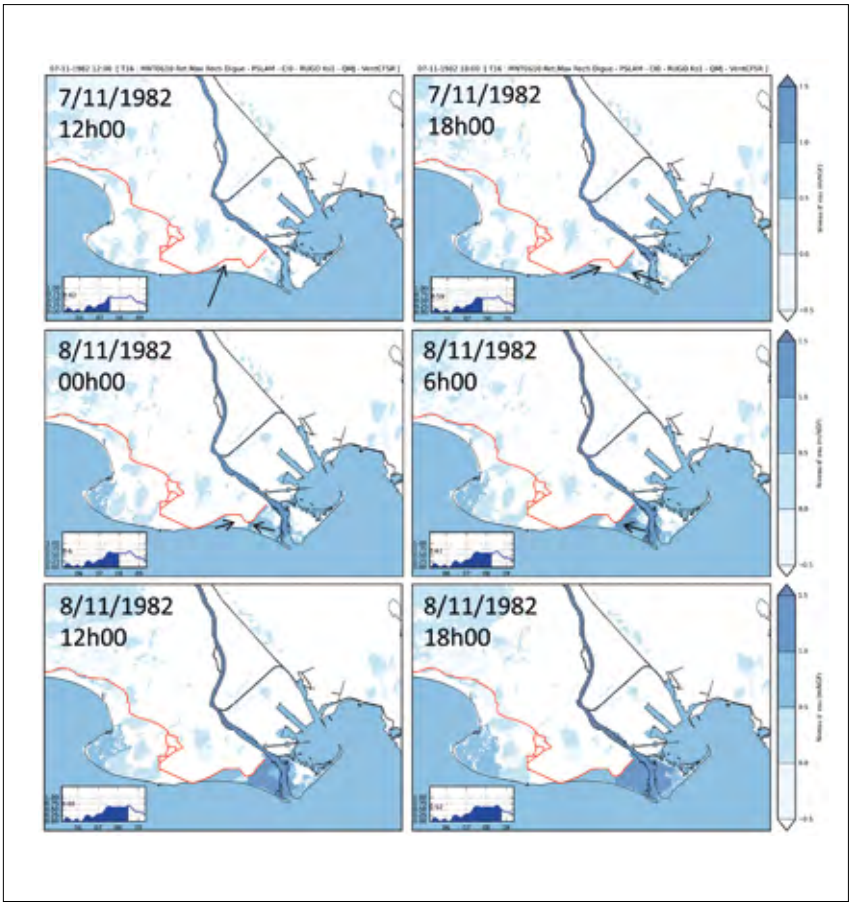


***Fig. 42** - Illustration de la dynamique de submersion les 7 et 8 novembre 1982. La digue à la mer est figurée en trait continu rouge. Des flèches précisent les entrées d'eau préférentielles.*
© BRGM

En 2016, la chaine de modélisation a été mise en place et validée, tandis que les scénarios de conditions de forçage ont été définis. Le modèle a été construit à partir des données bathymétriques et topographiques précises les plus à même de représenter le milieu spécifique de la Camargue. La chaine de modélisation implantée pour représenter l'ensemble des processus hydrodynamiques comprend la modélisation des vagues, des niveaux d'eau, des courants et de la submersion marine. Des simulations ont été réalisées pour l'évènement de tempête du 6 au 10 novembre 1982 ***(Fig.42)***. Sur cet évènement, la comparaison des résultats avec les observations relevées et les mesures des niveaux d'eau montre que le modèle est pertinent à l'échelle de la Camargue.

Pour illustrer les travaux de caractérisation de l'aléa submersion pour le PPRL, il peut être fait référence aux travaux et cartographies réalisés sur le bassin d'Arcachon pour la Direction départementale des territoires et de la mer de la Gironde. L'aléa submersion y a été étudié pour dix communes du pourtour du Bassin : Andernos-Les-Bains, Arcachon, Arès, Audenge, Biganos, Gujan-Mestras, Lanton, La-Teste-de-Buch, Lège-Cap-Ferret et Le Teich. Des cartes d'aléa, hauteur d'eau et vitesse d'écoulement ont ainsi été produites à l'échelle 1/10 000 ***(Fig.43)***. Ces travaux se sont largement appuyés sur des travaux de modélisation des vagues, niveaux d'eau, franchissement par paquets de mer et submersion marine ainsi que sur une expertise basée sur la connaissance historique et la connaissance du terrain.

LES JOURNÉES REFMAR 2016

En tant que référent national pour l'observation *in situ* du niveau de la mer, le SHOM a organisé les Journées REFMAR 2016 ***(Fig.44)***, avec le concours du Ministère chargé de l'Environnement et en particulier sa Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR), de la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO et du BRGM. Elles se sont tenues à l'UNESCO (Paris) du 2 au 4 février 2016 (http://refmar.shom.fr/journees-refmar-2016). L'observation du niveau de la mer est essentielle pour appréhender, par exemple, les effets du changement climatique comme l'évolution du niveau marin ou estimer ses possibles liens avec l'activité anthropique notamment au travers d'études portant sur les surcotes marines. Ces journées ont été labellisées COP21 et visaient à rassembler producteurs de données et usagers des mesures de hauteur d'eau. Le colloque s'est déroulé selon trois axes : "Observation du niveau de la mer au profit de la recherche", "Surcotes marines (submersions marines)" et "Compréhension de l'évolution du niveau de la mer". Le BRGM a plus particulièrement organisé et piloté la session relative aux surcotes marines. La conférence a rassemblé 170 scientifiques, gestionnaires et citoyens d'une vingtaine de pays francophones.

CONNAISSANCES ET PRÉCONISATION

Une des activités du BRGM sur la thématique de la dynamique côtière et des risques littoraux porte sur l'acquisition de connaissances sur la dynamique du

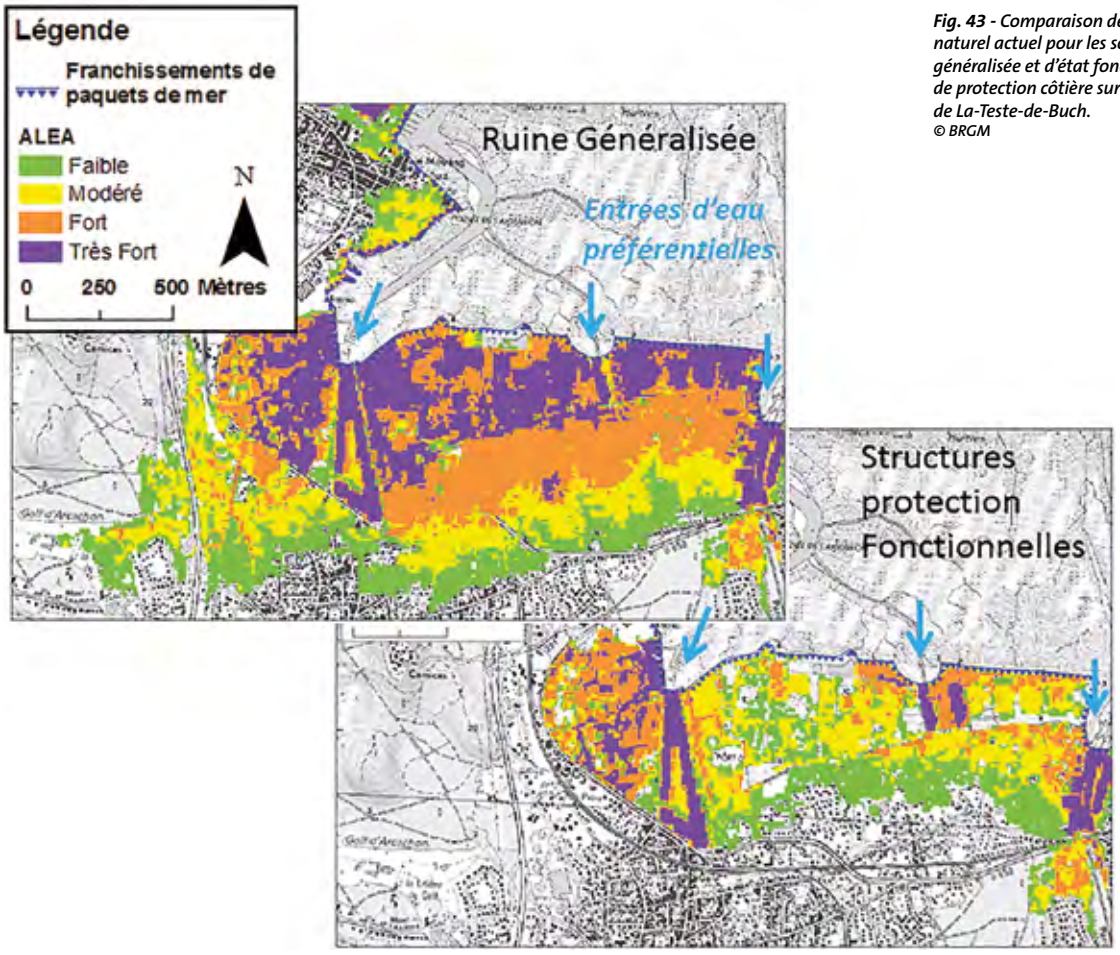


Fig. 43 - Comparaison de l'aléa de l'évènement naturel actuel pour les scénarios de ruine généralisée et d'état fonctionnel des structures de protection côtière sur la commune de La-Teste-de-Buch.
© BRGM

Fig. 44 - Journées REFMAR 2016.
© SHOM

littoral. Ces connaissances nouvelles peuvent alors être utilisées en termes de préconisation pour une meilleure gestion du littoral. Les travaux réalisés sur les plages de poche en Haute-Corse, en partenariat avec la Direction départementale des territoires et de la mer de Haute-Corse, illustrent bien cette démarche. La première phase de cette étude (2011-2013) avait donné lieu à l'Atlas littoral de la Haute-Corse, de Bastia à Galéria. Cet atlas présentait la géomorphologie, la climatologie et l'hydrodynamique du littoral de la Haute-Corse ainsi que l'évolution historique de son trait de côte entre 1948 et 2012. La seconde phase (2014-2016) avait pour objectif de préconiser des modes de gestion adaptés aux contextes spécifiques de ces plages de poche.

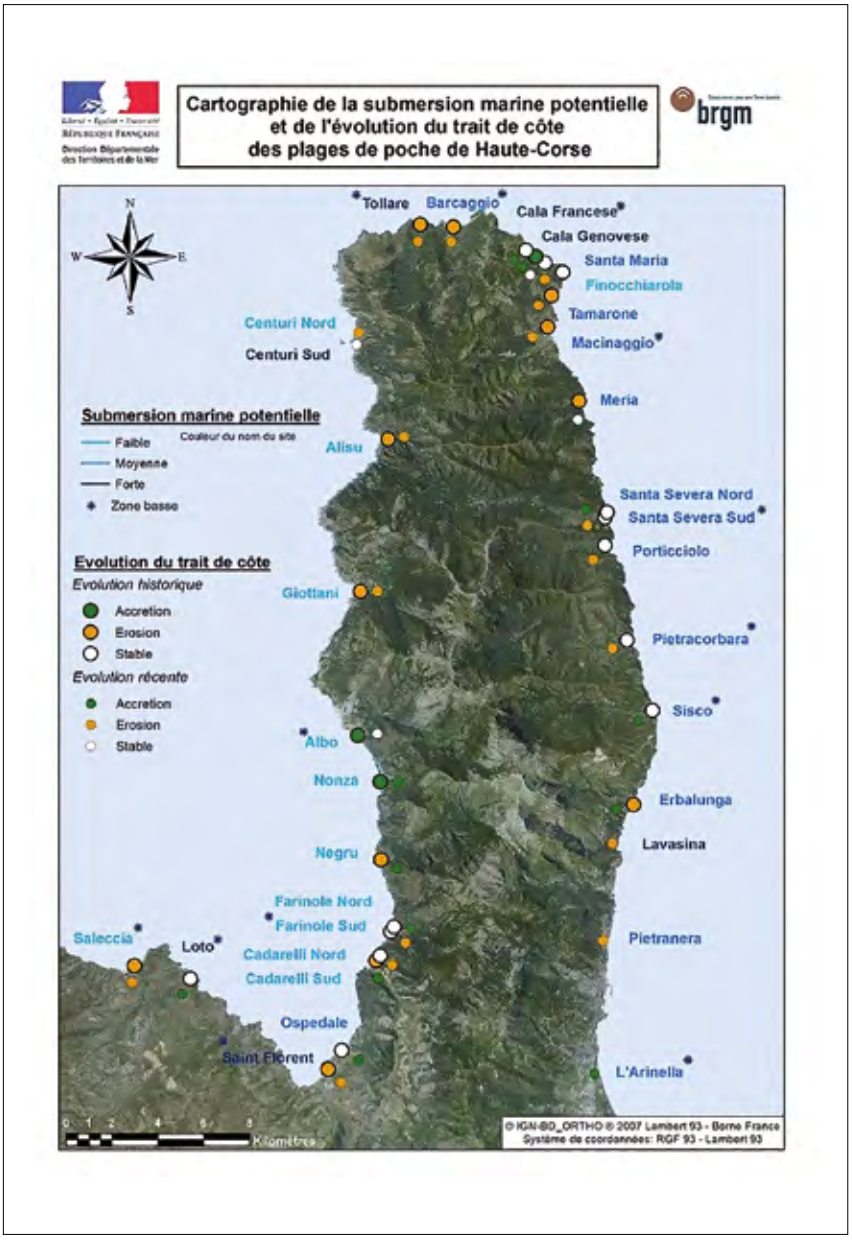


***Fig. 45** - Synthèse des phénomènes de submersion marine et d'érosion côtière des plages entre l'Arinella et Sallecia.*

À cette fin, il a été réalisé un atlas hydrodynamique permettant de caractériser la houle à l'approche de la côte pour les directions de provenance dominantes et d'évaluer l'impact des tempêtes en termes de submersion marine et de sensibilité à l'érosion. Cette étude répond à un besoin d'aide à la décision basé sur le diagnostic des phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine ***(Fig.45)*** ainsi que sur l'évaluation des enjeux potentiellement exposés. Cette étude inclut également un bref rappel des solutions techniques à disposition pour lutter contre ces aléas côtiers, pour aboutir à un panel de préconisations de gestion les plus adaptées et les plus durables, intégrées à l'échelle pertinente, à savoir la cellule sédimentaire. Les analyses et préconisations ont été réalisées pour chacune des plages étudiées en s'appuyant sur un atlas cartographique.

ATLAS DES ALÉAS LITTORAUX: ILLE-ET-VILAINE, CÔTES-D'ARMOR ET FINISTÈRE

L'année 2016 a vu la sortie de l'atlas des aléas littoraux pour les départements d'Ille-et-Vilaine, de Côtes-d'Armor et du Finistère (2 070 km de côtes). Ce travail a été réalisé pour la région Bretagne en partenariat avec l'Université de Bretagne Occidentale (UBO), l'Institut Universitaire Européen de la Mer (IUEM) et l'UMR Littoral Environnement Télédétection Géomatique (LETG). Cet atlas comporte deux parties : une synthèse bibliographique et l'acquisition de données. La partie "Synthèse bibliographique" contient une présentation du milieu humain et naturel (géographie, géomorphologie et géologie), des paramètres hydrodynamiques (agitation de la mer) et des aléas érosion et submersion marine. La partie "Acquisition" contient le relevé et la compilation de l'ensemble des mouvements de terrain littoraux, des cavités littorales, des observations de dégâts ou de réparations sur des ouvrages littoraux, une caractérisation géomorphologique du trait de côte ***(Fig.46)*** ainsi qu'une analyse cinématique, sur 60 ans environ, des côtes d'accumulation (plages). La prédisposition à l'érosion des côtes à falaises a été estimée et une analyse de la cinématique des côtes d'accumulation (plages de sables ou de galets) a été réalisée, déterminant ainsi leur tendance à l'érosion ou à l'accrétion. Cette partie "Acquisition" intègre également le recensement des tempêtes ou évènements dommageables à la côte pour les trois départements, avec une synthèse des données existantes. L'ensemble des données a été géoréférencé et un Système d'Information Géographique (SIG) a été créé pour une utilisation aisée à une échelle du 1/15 000.

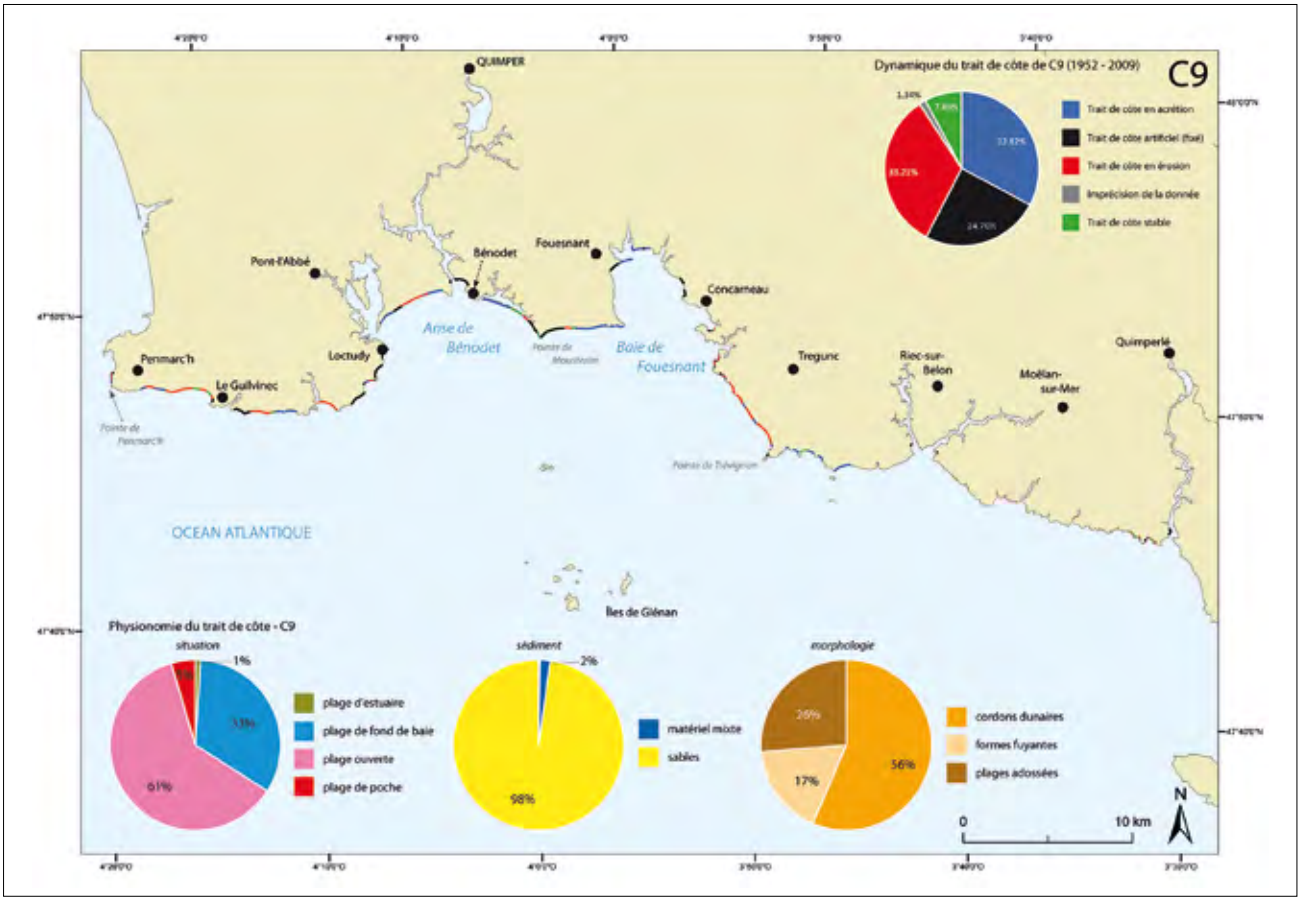


***Fig. 46** - Synthèse de la géomorphologie des côtes meubles du trait de côte du compartiment C9, i.e. les côtes du Sud-Finistère.*

VALORISATIONS RÉALISÉES

Naulin J.P., Moncoulon D., Le Roy S., Pedreros R., Idier D., Oliveros C.
Estimation of insurance related losses resulting from coastal flooding in France, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 195–207 (2016).*

Pedreros R., Nicolae Lerma A., Lecacheux S., Paris F.
Apport de la modélisation hydrodynamique au droit d'un marégraphe dans l'analyse des séries temporelles des niveaux enregistrés, *Journées REFMAR (2016).*

Idier D. et Pedreros R.
Les surcotes marines : phénomènes, observation, modélisation, évènements extrêmes et enjeux, Présentation Expert, *Journées REFMAR (2016).*

VULNÉRABILITÉ ET RÉSILIENCE DES SYSTÈMES URBANISÉS ET IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

APPROCHES MULTI-ALÉAS

De nombreuses zones géographiques, telles que les espaces montagneux, littoraux, urbains et périurbains, sont susceptibles d'être affectées par plusieurs phénomènes naturels et anthropogéniques potentiellement dangereux : mouvements de terrain, séismes et tsunamis, submersions marines et remontées de nappes, érosion des sols et du littoral, retrait gonflement des sols argileux. Comme l'indique le cadre de Sendai pour la prévention des risques naturels, les mesures de prévention pour lutter contre ces différents risques ne peuvent être prescrites indépendamment les unes des autres et une certaine homogénéité des recommandations doit être assurée.

Dans le cadre de ce programme, plusieurs études visent à élaborer des plans de prévention des risques prenant en compte la multiplicité des menaces s'exerçant sur un territoire. C'est le cas pour La Réunion et Mayotte, où plusieurs études multi-aléas ont été élaborées. En effet, ces territoires sont particulièrement soumis aux risques de mouvements de terrains et d'inondation, en raison de leur contexte morphologique et climatique. Sollicitée par la Direction de l'Équipement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL), la Direction régionale Réunion du BRGM contribue ainsi à l'élaboration des Plans de Prévention des Risques naturels (multirisques). Elle intervient également en appui aux administrations déconcentrées de l'État et aux collectivités locales pour des avis techniques et expertises d'urgence à la suite de phénomènes naturels impactant les secteurs à enjeux de l'île.

D'autres actions de ce programme sont axées sur le partage de la connaissance. À titre d'exemple, en Provence-Alpes-Côte d'Azur, la Région, la DREAL et le BRGM collaborent depuis plusieurs années dans le but d'améliorer la connaissance et diffuser l'information relative aux différents risques majeurs qui peuvent affecter le territoire. Une première phase de travail (2007-2013) avait ainsi permis de développer un portail "grand public" d'accès aux données risques de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Cette démarche s'est poursuivie par la création d'un Observatoire Régional des Risques Majeurs en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Aujourd'hui, l'Observatoire fédère un réseau régional d'acteurs (État, Région, collectivités, associations, industriels, assureurs, grand public...) et partage la connaissance pour inciter les citoyens à être acteurs de la prévention et optimiser l'usage d'observations en fonction des besoins des territoires.

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique induit une augmentation des températures moyennes et extrêmes, une modification du cycle de l'eau et une élévation du niveau de la mer. Ces bouleversements très rapides à l'échelle des temps géologiques ont, ou auront, des effets importants pour de nombreux aléas géologiques (mouvements de terrain, retrait gonflement des argiles, érosion des sols), hydrogéologiques (inondation par remontée de nappes, risques pour la qualité et la disponibilité de la ressource) et côtiers (submersions exceptionnelles, récurrentes, permanentes, érosion du littoral et recul du trait de côte).

Dans le cadre des actions d'appui aux politiques publiques du BRGM, deux approches complémentaires sont appliquées afin de mieux anticiper les effets du changement climatique. La première consiste à évaluer ses conséquences futures, avec ou sans mesures d'adaptation. La seconde a pour point de départ le schéma décisionnel dans lequel s'effectue l'adaptation (exemple : schémas territoriaux, plans de prévention des risques). Elle mobilise la connaissance scientifique permettant d'évaluer dans quelles situations l'adaptation, telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui, est suffisante, et dans quels cas elle ne l'est pas. Le projet complémentaire de l'Observatoire de la Côte Aquitaine illustre l'intérêt de ce type d'approches.

Quelle que soit l'approche appliquée, il est nécessaire de disposer de projections d'évolution du climat et de ses effets. Aujourd'hui, ces projections sont disponibles via des portails de services climatiques (ex : service climatique national DRIAS), qui contiennent notamment des projections de températures ou de précipitations, ou bien des services climatiques dédiés à certaines activités spécifiques, tel que le service climatique BOBWA, qui fournit des données de vagues permettant aux bureaux d'étude d'effectuer des modélisations de tempêtes pour les plans de prévention des risques littoraux.

Dans le cas de l'élévation du niveau de la mer, les projections régionales ne sont disponibles que depuis quelques années (2012 à 2014) et demeurent aujourd'hui peu accessibles, notamment en raison de la multiplicité des phénomènes à prendre en compte. La ***figure 47*** illustre que chaque processus impliqué dans l'élévation du niveau de la mer (dilatation thermique des océans, fonte des glaciers et des calottes polaires,...) a une signature spatiale différente. Ceci s'explique par le réchauffement inhomogène de l'atmosphère et des océans, des processus océaniques bien connus des climatologues et des océanologues, mais aussi par des déformations de la terre solide qui relèvent typiquement de la géologie : effets de la dernière déglaciation (-21 000 ans à -6 000 ans) et de la déglaciation actuelle, induite par les émissions de gaz à effets de serre, mais aussi redistributions de masses inhomogènes induites par les extractions massives d'eaux souterraines. Cette même figure montre que les résultats scientifiques actuellement connus sont déjà mobilisables pour établir des scénarios d'élévation du niveau de la mer différentiés selon le territoire

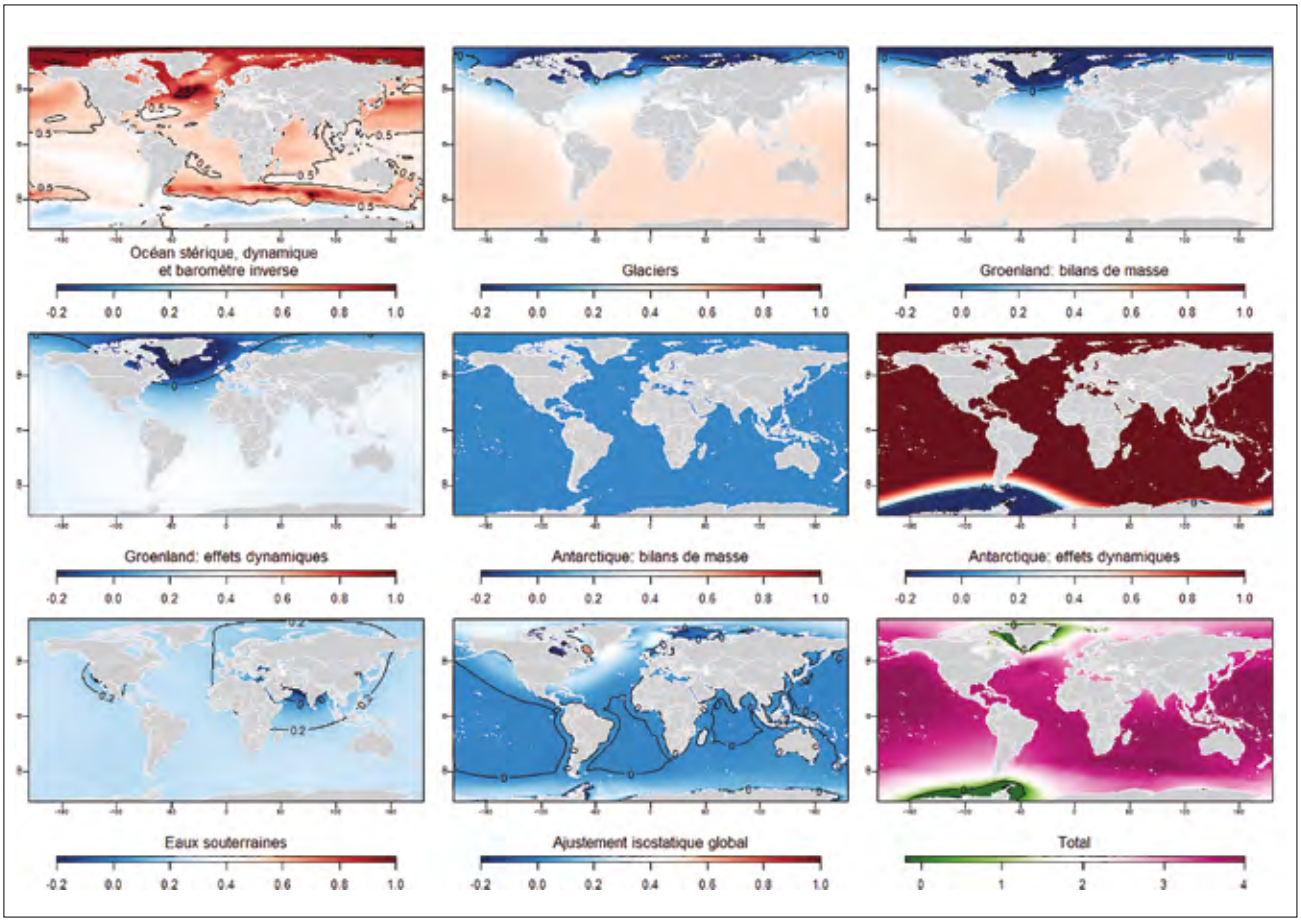


***Fig.47** - Effets régionaux de l'élévation du niveau de la mer, pour la fourchette haute de l'intervalle de confiance « vraisemblable du GIEC », en 2100 pour le scénario de changement climatique RCP 8.5. (Données GIEC 2013).*
© BRGM

considéré (ex : France métropolitaine, Antilles, Guyane, La Réunion, Polynésie française, Saint-Pierre et Miquelon, Nouvelle-Calédonie,...). À ces phénomènes s'ajoutent des mouvements verticaux du sol, locaux ou régionaux, qui modifient les variations du niveau marin relativement à la côte. Plusieurs projets de recherche du BRGM visent actuellement à établir des scénarios locaux de niveau marin pour évaluer les impacts (recul du trait de côte, submersions marines).

La démarche du BRGM vis-à-vis du changement climatique s'inscrit dans le cadre du développement de "services climatiques pour l'adaptation". Le BRGM a ainsi co-piloté l'analyse stratégique globale du consortium de valorisation thématique d'Allenvi entre 2014 et 2016, mettant en évidence que les services climatiques côtiers, pour les secteurs de l'énergie et des ressources en eau, ont de très forts potentiels de croissance au cours de la prochaine décennie.

Le BRGM contribue également à la recherche amont qui permettra de mettre en place des services (projets ERANET ERA4CS), que ce soit dans le but de développer des modèles permettant d'appréhender les impacts côtiers, géologiques ou hydrogéologiques, ou des algorithmes et des modèles de données qui permettront de mettre en place des portails de données. Enfin, le BRGM a contribué à l'élaboration et l'implémentation du Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, à travers trois axes principaux : détection et attribution d'impacts du changement climatique, évaluation des impacts et services climatiques pour l'adaptation. Ces actions viennent notamment appuyer les mécanismes en faveur de l'adaptation mis en place par la loi Grenelle 2 et des directives européennes telles que la Directive-Cadre inondation.

VALORISATION RÉALISÉE

Charles E., Idier D., Thiébot J., Le Cozannet G., Pedreros R., Ardhuin F. et Planton S. (2012). Wave climate variability and trends in the Bay of Biscay from 1958 to 2001, *Journal of Climate.*

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

PARTENARIAT AVEC L'EUROMÉTROPOLE DE STRASBOURG POUR LA PRÉVENTION ET LA GESTION DU RISQUE LIÉ AUX CAVITÉS SOUTERRAINES

De par ses activités historiques brassicoles, le sous-sol de l'Eurométropole de Strasbourg (EMS), notamment le quartier de Koenigshoffen et la Ville de Schiltigheim, est occupé par de multiples réseaux souterrains anthropiques. En effet, la fabrication de la bière nécessitait un stockage dans des réseaux souterrains refroidis à l'aide de glace cultivée et stockée dans des salles appelées glaciaires. À cette activité s'ajoute la présence d'ouvrages militaires enterrés, qui ont pu, pour certains, servir d'abris lors des deux Guerres mondiales. Ces anciennes cavités à très faible profondeur, longtemps oubliées, présentent un risque pour la sécurité des biens et des personnes.

Depuis 1996, le BRGM et l'EMS mènent un programme d'actions pour la prévention des risques d'effondrement liés à l'existence de cavités souterraines dans le sous-sol de l'agglomération strasbourgeoise. Ce programme consiste notamment à informer les populations de l'existence de ces risques, à prendre en compte les menaces représentées par ces anciens ouvrages dans la réglementation relative aux constructions et à l'urbanisme, à appuyer les services de sécurité ou de secours lorsque des désordres surviennent et enfin, d'une façon générale, à parvenir à une gestion rationnelle du risque.

Dans ce contexte, il a été proposé en 2016 de consolider la collaboration entre l'EMS et le BRGM, en inscrivant dans une convention-cadre de partenariat les futures actions qui seront menées conjointement, relatives notamment à la prévention et la gestion du risque lié aux cavités souterraines.

Inspection de galerie par le BRGM et l'Eurométropole de Strasbourg.
© N. Witt

APPORT DE LA GÎTOLOGIE ENVIRONNEMENTALE POUR UNE MEILLEURE GESTION DES SITES MINIERS

Suite au passé minier de la France, on recense quelques 300 gisements exploités de manière significative ou ayant fait l'objet de travaux d'exploration avancés. Ces exploitations sont à l'origine d'importantes quantités de "déchets miniers". La directive 2006/21/CE du Parlement et du Conseil du 15 mars 2006 concernant la gestion des déchets de l'industrie extractive (DDIE) prévoit, à l'article 20, la réalisation et la mise à jour régulière d'un inventaire et d'une classification selon les risques posés sur la santé humaine ou l'environnement. En France, suite à la réalisation de cet inventaire, afin de déterminer les sources de contamination ainsi que leurs vecteurs de transport, le BRGM a mené, en partenariat avec GEODERIS, quinze études environnementales entre 2014 et 2016. Plus de trente sites/secteurs miniers vont être investigués jusqu'en 2021.

Ces études environnementales se basent notamment sur la détermination du fond géochimique local nécessaire à l'établissement de références. Depuis 2016, elles font intervenir conjointement des experts environnementalistes et des experts en gitologie et métallogénie afin d'obtenir une vision la plus complète possible des formations géologiques et des concentrations en métaux et métalloïdes présentant un risque pour l'environnement et la santé humaine.

Cette approche, dite de gitologie environnementale, permet de comprendre la répartition des minéralisations dans les formations géologiques et d'identifier ou de quantifier le risque de présence d'anomalies géochimiques non exploitées (car non intéressantes d'un point de vue économique) pouvant présenter des concentrations en métaux et métalloïdes incompatibles avec certains usages. Elle s'inscrit dans une logique d'aide à la gestion durable du territoire.

Vue de résidus miniers dans l'Aveyron.

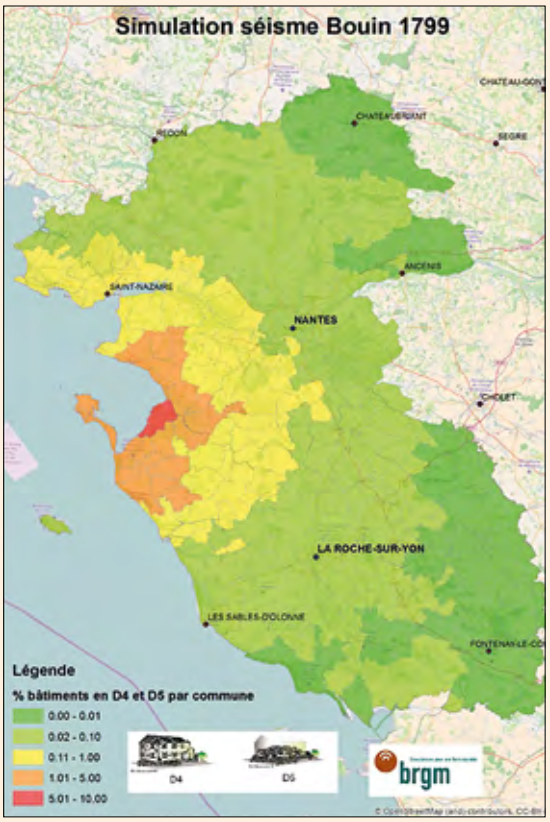
IMPACT DU SÉISME DE 1799 SUR LE BÂTI COURANT DES DÉPARTEMENTS DE LOIRE-ATLANTIQUE ET DE VENDÉE

Le séisme survenu le 25 janvier 1799, vers 4 heures du matin, dans le grand ouest de la France au large de Bouin et de Noirmoutier, sur la côte vendéenne, est l'un des six séismes les plus destructeurs de France métropolitaine. Bien que se produisant dans une région de faible aléa sismique, il a généré des dégâts significatifs dans le sud de la Loire-Atlantique et le nord de la Vendée (destructions importantes et panique de la population). Depuis, la densité des constructions a considérablement augmenté, notamment dans les secteurs attractifs que sont le littoral et la métropole nantaise. Afin de contribuer à la communication sur l'aléa sismique, une simulation des dommages que produirait un tel séisme aujourd'hui a été réalisée afin de sensibiliser et d'informer les élus, les gestionnaires, les constructeurs et les particuliers des conséquences d'un événement sismique sur les communes littorales et sur la ville de Nantes.

Réalisée en partenariat avec la DREAL Pays de la Loire, cette étude se base sur la méthodologie générale des scénarios de risque sismique développée par le BRGM, appliquée dans le cadre des travaux conjoints avec CCR (Caisse Centrale de Réassurance).

En effet, le programme de recherche collaborative du BRGM et CCR consiste à définir des scénarios de dommages départementaux permettant d'évaluer les conséquences financières sur les constructions pour une source sismique donnée.

L'évaluation des conséquences financières porte sur le seul périmètre des biens assurés indemnisables dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles. L'utilisation de cette méthodologie sur le territoire de la Vendée (85) et de la Loire-Atlantique (44) a permis d'estimer les pertes économiques pour le séisme de 1799 s'il avait lieu aujourd'hui : elles sont de l'ordre de 1,5 à 2,2 milliards d'euros pour les seules habitations. Ce coût significatif s'explique par le fait qu'une forte concentration de biens assurés se situe en zone "dommageable".



Estimation du pourcentage de bâtiments présentant des états de dommages D4 et D5 (bâtiments fortement endommagés ou détruits). Restitution à l'échelle communale.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA CHUTE DE BLOCS DE L'ANCIENNE CARRIÈRE DE CASEVECCHIE (VILLE-DI-PIETRA-BUGNO, HAUTE-CORSE) SUITE À UN ÉBOULEMENT SUR LA RÉSIDENCE ROSA VERDE LE 19 OCTOBRE 2015

Le 19 octobre 2015, vraisemblablement en lien avec un épisode orageux intense survenu en début de mois, un éboulement de 1 200 m³ s'est produit au droit de la résidence Rosa Verde sur la commune de Ville-di-Pietrabugno, située sur les hauteurs de Bastia en Haute-Corse. L'événement a occasionné un blessé léger et causé de forts dommages matériels : de nombreux véhicules ont été écrasés et l'angle d'un bâtiment d'habitation touché. La quarantaine de résidents a dû être évacuée par arrêté municipal pour une durée indéterminée.

Suite à cet événement, la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM 2B) et la préfecture de Haute-Corse ont sollicité le BRGM pour mener une étude détaillée. Au-delà de s'attacher à préciser les causes de l'événement d'octobre 2015, cette étude avait pour objectifs de recenser, sur l'ensemble du linéaire de falaise (proche de 300 m), l'ensemble des instabilités rocheuses potentielles et établir une cartographie d'aléa "chutes de blocs" en pied de falaise ainsi qu'une cartographie d'aléa "recul de falaise" en arrière de la tête de falaise. Elle conclut sur des prescriptions techniques et fournit un ordre de grandeur des coûts de sécurisation des différentes résidences d'habitation collective présentes en amont et en aval de la falaise. Des solutions de gestion du risque sur le long terme ont été proposées. Par ailleurs, la nécessité de prendre en compte la présence d'amiante dans le milieu naturel pour la réalisation des travaux de protection a été mise en lumière.

Vue générale de l'éboulement du 19 octobre 2015 (Résidence Rosa Verde, Ville di Pietrabugno, Haute-Corse).
© BRGM

ÉROSION DES FALAISES EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR : ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET SOCIOLOGIQUE

80 % de la population de Provence-Alpes-Côte d'Azur, vit sur 20 % du territoire littoral de la région. Les éboulements de falaise font donc peser un risque croissant sur la population. Le projet VALSE, pour Vulnérabilité et Adaptation pour Les Sociétés face aux Érosions de falaises côtières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), a permis de confirmer l'érosion active des falaises du littoral de la région PACA et d'analyser le comportement des riverains face à ce phénomène en couplant des approches géologique et sociologique. Ainsi, pour la première fois en PACA, un taux de recul des falaises côtières a été évalué sur une portion de falaise située sur la commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône) : 1 cm par an en moyenne sous l'effet des vagues, des pluies, des tempêtes mais aussi des infiltrations d'eau générées par les activités humaines. Une campagne innovante de mesures, menée à l'aide de scans laser effectués en bateau, a permis de quantifier l'érosion et d'enregistrer pas moins de 15 000 cicatrices d'éboulements, alors que seulement 21 événements étaient recensés sur le littoral de la commune.

Le volet sociologique de l'étude a été mené via une analyse qualitative (entretiens effectués auprès de 40 riverains, décideurs et gestionnaires) et quantitative (enquête par questionnaire auprès de 125 riverains). Les résultats ont été croisés avec les lieux d'habitation et les éboulements catalogués. Si les habitants concernés semblent être conscients du risque, ils ont néanmoins tendance à le minimiser. Ils sont majoritairement confiants sur les moyens techniques de protection, tandis que les acteurs publics sont plus réservés, estimant que l'érosion marine l'emportera toujours sur le long terme.

Exemple d'urbanisation de type villa individuelle avec piscine sur les falaises côtières du littoral de la Côte Bleue (Bouches-du-Rhône).
© Claeys

PPR MULTI-ALÉAS DES COMMUNES DE LA RÉUNION : PROPOSITION D'ÉVOLUTIONS MÉTHODOLOGIQUES

La DEAL de La Réunion s'inscrit résolument dans une démarche d'élaboration des PPR dits "multi-aléas" intégrant simultanément les aléas mouvements de terrain (chute de blocs, glissement de terrain et érosion) et inondation. La méthodologie mise en œuvre pour l'aléa mouvements de terrain, dite "à dire d'expert", s'appuie sur une approche couplant une analyse cartographique SIG et une analyse naturaliste d'identification des indices géomorphologiques de terrain. Bien que décrite dans le guide d'élaboration des PPR à La Réunion (DEAL de La Réunion, août 2012) ainsi que dans les notes de présentation des PPR approuvés, cette approche est fréquemment sujette à question de la part des citoyens concernés, notamment lors des phases d'enquête publique, et/ou des services des collectivités locales lors des phases de concertation et d'échanges sur les cartes d'aléas.

Le projet vise donc à améliorer la compréhension de cette méthodologie par les utilisateurs finaux des cartes d'aléas mouvements de terrain (MVT). Chaque méthode de caractérisation des aléas est décrite avec une proposition d'outils d'aide à la cartographie intégrant les récentes évolutions à l'échelle nationale, adaptées au contexte réunionnais. Ces outils se traduisent par l'élaboration de grilles de qualification des aléas prenant en compte les notions de probabilité d'occurrence et d'intensité pour chaque aléa étudié. L'étude s'est également intéressée plus spécifiquement aux prescriptions envisagées dans la traduction réglementaire de l'aléa moyen MVT dans les PPR de l'île, en dressant un état des lieux des pratiques à l'échelon national mais également local (évolution des pratiques depuis les premières procédures PPR à La Réunion). Des perspectives d'évolution, et notamment la possibilité d'ouverture vers un principe de constructibilité sous prescriptions pour cette zone, sont proposées.

Exemple d'effondrement en crête d'un grand versant avec des habitations exposées en recul – Secteur d'Ilet à Cordes à Cilaos – 2014.
© BRGM

EXPLOITATION DE LEVÉS D'ÉLECTROMAGNÉTISME HÉLIPORTÉ DANS UNE PERSPECTIVE DE RÉÉVALUATION DES CARTES D'ALÉA "MOUVEMENTS DE TERRAIN" EN MILIEU VOLCANIQUE TROPICAL : APPLICATION AUX ANTILLES

Anticiper les glissements de terrain est un enjeu à la fois humain et économique, et ce plus particulièrement dans les territoires ultramarins, où la susceptibilité des versants à se déstabiliser est particulièrement forte en raison des saisons cycloniques marquées, de la concentration des enjeux et d'une forte pression foncière.

Depuis quelques années, des modèles numériques permettant de calculer de manière spatiale des facteurs de sécurité ou des probabilités de rupture des versants sont fréquemment utilisés pour évaluer la susceptibilité des terrains aux glissements de terrain. Ces modèles 2D ou 3D fournissent un facteur de stabilité en fonction de paramètres topographiques, mécaniques, géotechniques, hydrologiques et hydrogéologiques, caractérisant des terrains concernés. Face aux coûts d'acquisition de certains de ces paramètres, l'ElectroMagnétisme (EM) héliporté peut constituer une alternative efficace afin d'obtenir certaines informations rapidement et sur de vastes espaces. En effet, même si la résistivité n'a qu'une relation indirecte avec le comportement mécanique des sols – qui peut conditionner les glissements de terrains – elle permet cependant d'obtenir des informations pertinentes sur l'épaisseur des formations géologiques et leur distribution spatiale. Dès 2010, le BRGM a initié l'acquisition d'une couverture géophysique héliportée haute résolution des départements de Mayotte, Guadeloupe, Martinique et La Réunion. L'objectif du présent projet pilote est d'estimer si les données acquises lors de ces campagnes apportent une valeur ajoutée significative pour l'évaluation de la susceptibilité aux glissements de terrain. Un protocole d'étude fondé sur les résultats de l'EM, des corrélations avec des observations de terrain et des calculs de stabilité a été élaboré, calé et validé sur deux glissements en Martinique ; il doit pouvoir être utilisé sur les secteurs de contexte similaire disposant d'une telle couverture géophysique.

Glissement de la Médaille. Partie amont du glissement affectant régulièrement la RN 3.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

GESTION ET PRÉVENTION DU RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN LIÉ À LA PRÉSENCE DE GYPSE EN PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR – GUIDE À L'USAGE DES MAIRES

Du fait de ses particularités (roche soluble, vitesse de dissolution mal connue), les mouvements de terrain générés par le gypse (effondrements notamment appelés plus communément fontis) sont difficiles à gérer et à prévenir. Il est, de plus, particulièrement difficile de le localiser précisément en sous-sol et de connaître son emprise potentielle en surface. Du fait d'une géologie complexe, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) est concernée par cette problématique qui génère des risques significatifs du fait d'une forte urbanisation en surface.

Dans le cadre de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs, le BRGM a réalisé, en partenariat avec la DREAL et la Région, un guide à l'usage des collectivités relatif à la gestion et la prévention du risque mouvements de terrain lié à la présence de gypse en PACA. Cet ouvrage se concentre principalement sur la problématique liée à la dissolution du gypse en sous-sol et à la formation de cavités dites naturelles. La question des cavités anthropiques liées à d'anciennes exploitations de gypses en souterrain (utilisées pour la fabrication du plâtre) y est également traitée. Le guide gypse aborde ainsi les différentes actions utiles à une meilleure connaissance et donc une meilleure gestion du phénomène (avancement de la connaissance du phénomène, réglementation, indices à repérer, méthodes de prévention, etc.) en répondant aux différentes questions que peuvent se poser les élus. Ce guide est en accès libre sur le site Internet de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs en PACA à l'adresse: http://observatoire-regional-risques-paca.fr/.

Guide à l'usage des Maires.
© BRGM

ANALYSE DE L'ÉROSION DES SOLS SUR LE VIGNOBLE CHAMPENOIS DE LA MARNE

Suite à une augmentation significative des arrêtés de catastrophe naturelle liés au ruissellement et à l'érosion des sols, en particulier dans les communes viticoles du champenois, la Direction Départementale des Territoires de la Marne a sollicité le BRGM pour réaliser une cartographie de l'érosion des sols sur le vignoble champenois. Une première cartographie a été réalisée à l'échelle départementale complétant des travaux antérieurs sur l'aléa ruissellement. L'utilisation du modèle MESALES a permis de mettre en avant une sensibilité des sols à l'érosion élevée sur les secteurs viticoles du département.

Une modélisation de type expert WATERSED a permis en une seconde phase d'évaluer le transfert sédimentaire sur l'ensemble des bassins versants correspondants aux communes viticoles de la Marne.

Des évènements pluviométriques remarquables de récurrence variable (de 5 ans à 100 ans) ont été simulés, en intégrant des données pédo-paysagères (caractéristiques par type de sols et par occupation des sols). Les secteurs présentant un aléa fort ont ainsi été identifiés.

Après prise en compte des enjeux, essentiellement les zones habitées, les résultats de cette deuxième phase ont permis de sélectionner deux bassins versants viticoles prioritaires sur les communes de Sermiers et Dizy sur lesquels une modélisation à haute résolution a permis de quantifier le ruissellement et l'érosion.

Bassin versant de Dizy/Champillon. Transect entre le plateau et la vallée de la Marne.
© BRGM (2005)

ÉVALUATION DU RÔLE DES AMÉNAGEMENTS SUR L'APPARITION D'EFFONDREMENTS EN CONTEXTE KARSTIQUE

Les karsts sous couverture comptent parmi les contextes géologiques les plus sensibles à l'aléa effondrement. Un facteur aggravant des effondrements karstiques est la présence de circulation d'eau facilitant le soutirage des matériaux sous couverture vers l'aquifère karstique. L'étude menée par le BRGM, en partenariat avec la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère chargé de l'Environnement, a pour objectif d'évaluer le rôle des aménagements anthropiques sur l'apparition d'effondrements en contexte karstique.

L'étude bibliographique menée dans un premier temps a montré que trois grandes catégories d'aménagement pouvaient être à l'origine de désordres en contexte karstique : la concentration des eaux d'infiltration, le rabattement de la nappe karstique et les perturbations physiques du sol. Les modélisations exploratoires, réalisées dans un deuxième temps, ont mis en évidence les paramètres principaux dans l'accélération ou l'apparition des instabilités. Dans le cas d'une concentration de l'infiltration, il s'agit de la perméabilité, la cohésion et l'épaisseur de la couverture ainsi que de la nature de l'aménagement. Dans le cas d'une modification du niveau piézométrique, il s'agit de la position de la nappe par rapport à l'interface couverture-karst et de la dynamique de la nappe. La concentration des eaux d'infiltration est la plus impactante sur le territoire national. Concrètement, quatre types d'aménagements sont ici en cause : les bassins, les canalisations aériennes, les canalisations enterrées et les ouvrages d'infiltration ponctuelle.

Fontis d'Hussigny (Meurthe-et-Moselle).
© BRGM

IMPLANTATION DE STATIONS ACCÉLÉROMÉTRIQUES PERMANENTES À MAYOTTE

Dans le cadre de sa participation au Réseau Accélérométrique Permanent français (RAP), le BRGM a installé en 2016 trois stations accélérométriques à Mayotte améliorant ainsi significativement la détection des séismes régionaux autour de l'île. Trois séismes ont été ressentis à Mayotte en 2016 et la présence de ce réseau de stations a permis à la préfecture de Mayotte d'informer la population sur l'origine de ces secousses.

Le réseau devrait être complété en 2017 par une station sismique à vocation pédagogique au collège de Chiconi, intégrée au réseau national "Sismos à l'École", avec l'appui technique du BRGM et le soutien de la DEAL et du vice-rectorat.

Installation d'une station accélérométrique à Iloni (Mayotte). La station est installée à l'intérieur des locaux du Parc Naturel Marin de Mayotte.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

RETOUR D'EXPÉRIENCE SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN SURVENUS DANS LE LOIRET SUITE AUX INTEMPÉRIES DU PRINTEMPS 2016

La crise météorologique du printemps 2016 a touché la moitié nord de la métropole et a sévèrement affecté le département du Loiret et tout particulièrement la région orléanaise. Dès les premières heures, le BRGM a été réquisitionné en cellule de crise par la préfecture du Loiret afin d'expliquer les phénomènes de mouvements de terrain, de mener des expertises relatives à la sécurité des biens et des personnes et de fournir une aide à la décision pour la gestion immédiate du risque associé aux phénomènes constatés. Le BRGM a également été sollicité et mobilisé pour éclairer la problématique inondation, supposée liée à une remontée de nappe, et le comportement hydrologique du système karstique de la région d'Orléans.

Dans le secteur d'Orléans, les fortes précipitations, et surtout les inondations générées par ces pluies, ont causé près d'une centaine d'effondrements/affaissements liés à des cavités souterraines. Suite à ces évènements, le Ministère chargé de l'Environnement a confié au BRGM la réalisation d'un retour d'expérience sur ces mouvements de terrain, en partie inattendus, et, dans tous les cas, inédits par leur ampleur sur ce territoire. Cet exercice a permis de capitaliser les données acquises, de mieux comprendre les phénomènes en cause et enfin d'en tirer des enseignements utiles à l'amélioration de la gestion de ce risque.

Fontis ayant touché une carrière souterraine située dans l'axe de la vallée sèche karstique de la Retrève (inondée pendant plus de 10 jours suite aux intempéries de mai-juin 2016). Les plus grands fontis atteignent 10 m de diamètre et 8 m de profondeur. Les enjeux proches (maisons, routes) n'ont pas été affectés.
© BRGM

LUTTE CONTRE L'ÉROSION DES SOLS ET L'ENVASEMENT DU LAGON À MAYOTTE

Dans le contexte du classement du lagon de Mayotte au patrimoine mondial de l'Unesco, enjeu majeur pour le développement du territoire, le projet Leselam (Lutte contre l'Érosion des Sols et l'Envasement du Lagon à Mayotte) vise la compréhension des phénomènes qui conduisent à l'érosion des sols en zones agricole, urbaine et naturelle et à la mise en place de mesures de remédiation (protection des talus, agriculture de conservation-défense et restauration des sols, ...). La pression anthropique et la vulnérabilité du milieu amplifient en effet l'érosion, qui constitue une menace sur le lagon par l'apport massif de sédiments.

L'objectif du projet est d'engager les acteurs dans une démarche collective d'élaboration et de mise en œuvre de pratiques techniques et organisationnelles de lutte contre l'érosion des sols assurant une adéquation durable entre qualité du milieu lagunaire et développement de l'agriculture et de l'habitat rural. Il a notamment permis le lancement du suivi hydro-sédimentologique en continu des bassins-versants de Mtsamboro (bassin côtier de 17 ha à dominante urbaine) et de Dzoumogné (340 ha à composante naturelle, forêt, padzas et agricole), la mise en place d'un laboratoire d'analyses ainsi que la tenue de premiers ateliers d'information avec les agriculteurs.

Le suivi hydro-sédimentaire du bassin versant urbain de Mtsamboro.

GLISSEMENT DE VERSANT AVEC COULÉES DE BOUES ASSOCIÉES (FÉVRIER 2016) ET RÉACTIVATION MAJEURE (JUIN 2016) SUR LA COMMUNE DE SOULCE-CERNAY (DOUBS)

Début février 2016, des pluies persistantes provoquent, au débouché de deux émergences karstiques, le démantèlement brutal de travertins plaqués sur une barre calcaire. Le glissement de terrain atteint rapidement les colluvions argileuses du versant, ce qui engendre une série de coulées boueuses qui coupent à plusieurs reprises l'unique axe routier du fond de la vallée du Haut-Doubs (RD437c) et impactent des chalets en contrebas. La situation du versant semble ensuite se normaliser cependant que les excédents pluviométriques perdurent.

Suite à un orage survenu le 18 juin, le glissement se réactive brutalement le 20 juin 2016 (RD437c coupée à nouveau, et ce durablement). Lors de la première expertise du BRGM 10 jours plus tard, le mouvement restait évolutif et il faut attendre encore 6 semaines pour que le versant se dé-sature sensiblement et que la menace pour l'axe routier s'éloigne. En amont de la réalisation des travaux de stabilisation du versant, le BRGM a accompagné le Conseil départemental du Doubs en établissant un protocole des conditions techniques de réouverture, par intermittence, de la RD437c incluant la mise en place opérationnelle d'un suivi du versant, avec notamment la définition d'un seuil d'activation pluviométrique.

RD437c coupée fin juin 2016.
Sous la route, chalet emporté sur 15 m vers l'aval.
© BRGM

GRANDES INSTABILITÉS HISTORIQUES DE VERSANT À HAUTEUR DES GORGES DE L'ARLY (COMMUNES DE COHENNOZ ET D'UGINE EN SAVOIE)

La RD1212 est un axe routier stratégique qui dessert les stations de ski du pays du Mont-Blanc. Au niveau des gorges de l'Arly, elle est soumise à de récurrentes chutes de blocs qui en font la route la plus onéreuse de métropole. Les versants de l'Arly sont également le siège de grandes instabilités historiques qui connaissent des phases de réactivation (glissements et coulées de boue) bien moins fréquentes mais qui affectent alors des volumes bien plus considérables que les instabilités rocheuses. Une telle phase de réactivation en masse des versants en rive gauche de l'Arly s'est amorcée début mai 2015 et s'est poursuivie en 2016. Du fait de l'encaissement de la vallée, les dégâts occasionnés ont affecté directement la RD1212, mais aussi, par charriage solide torrentiel, les activités économiques implantées dans le fond de vallée en aval, tant sur Ugine que sur Albertville.

Cette étude initiale sur la zone a permis de faire un premier état des lieux des connaissances associé à une première reconnaissance partielle du terrain, de mettre en évidence les importantes lacunes sur la dynamique des versants, de confirmer la nature autochtone des matériaux meubles issus de l'altération des micaschistes de la Série Satinée et la forte dissymétrie tant structurale qu'hydrogéologique de la vallée.

Réactivation sur 30 à 50 m de dénivelé du pied de versant sous forme de glissements.
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

ATLAS DES ALÉAS LITTORAUX (ÉROSION ET SUBMERSION MARINE) DES DÉPARTEMENTS D'ILLE-ET-VILAINE, DES CÔTES-D'ARMOR ET DU FINISTÈRE

La diversité du littoral breton constitue un atout paysager majeur mais induit également une complexité dans la compréhension des phénomènes liés aux risques naturels. Les 2 000 km de côtes bretonnes sont en effet soumis à différents types d'aléas (érosion, submersion, accrétion, tempête) d'intensités variables selon le climat, les marées, la géologie et la géomorphologie du trait de côte.

La connaissance de ces aléas ainsi que la collecte des données associées constituent un enjeu majeur pour l'aménagement du territoire et l'élaboration d'une stratégie préventive. La DREAL Bretagne a donc confié au BRGM la réalisation d'un atlas des aléas littoraux des départements des Côtes-d'Armor, du Finistère et de l'Ille-et-Vilaine. Ces travaux comprennent une synthèse bibliographique décrivant le milieu physique et humain, les paramètres hydrodynamiques (agitation de la mer) et les évènements et études recensant les aléas d'érosion et de submersion marines. Ils ont été complétés par des acquisitions de terrain sur 2 000 km de côtes et ont permis de relever les mouvements de terrains littoraux, les cavités, les dégâts occasionnés et les réparations réalisées, la géomorphologie du trait de côte et l'analyse de la cinématique d'accumulation. L'ensemble de ces données a permis de définir la prédisposition à l'érosion des côtes à falaises et d'analyser la cinématique des côtes d'accumulation (plages de sable et de galets) afin de déterminer leur tendance à l'érosion ou à l'accrétion. Ces travaux intègrent également le recensement des tempêtes et des évènements dommageables à la côte.

Inventaire des évènements dommageables à la côte - Effondrement généralisé de la digue de Paramé – Saint-Malo (Ille-et-Vilaine) après le raz-de-marée du 30 octobre 1905.
© Archives Départementales d'Ille-et-Vilaine

PRÉFIGURATION D'UN RÉSEAU DE SURVEILLANCE DES TEMPÊTES EN RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR ET MISE À JOUR 2014-2016 DE LA BD-TEMPÊTE

En 2014, le BRGM a réalisé, en partenariat avec la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Provence-Alpes-Côte d'Azur, un inventaire des tempêtes majeures qui ont affecté le littoral régional. Les informations collectées lors de cette étude ont été rassemblées dans une base de données qui est désormais consultable sur le site de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs en région PACA (ORRM).

Cette base de données permet de rassembler les informations recueillies sur les tempêtes historiques et offre un cadre renouvelé visant à améliorer les retours d'expérience à partir des remontées de terrain. Elle constitue également la brique élémentaire d'un réseau d'acteurs du suivi de l'impact des tempêtes sur le littoral régional, en charge de rassembler et capitaliser les informations lors des prochaines tempêtes. Dans le cadre d'un partenariat entre le BRGM et la DREAL PACA, et à travers l'ORRM, il est envisagé de mettre en place des outils d'animation de ce réseau d'acteurs de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. La présente étude propose une préfiguration d'un réseau tempête à l'échelle régionale PACA qui associe les acteurs locaux de la gestion des territoires littoraux :

- un inventaire des acteurs susceptibles de participer au réseau régional de suivi des tempêtes, et de leur protocole de mesures ;
- le développement d'outils d'animation du réseau (protocole d'activation du réseau par mail automatique, banque de données en ligne, outil de saisie en ligne) ;
- et la mise à jour de la BD-Tempête en région PACA.

Rubrique Tempête sur le site de l'Observatoire Régional des Risques Majeurs (ORRM)
http://observatoire-regional-risques-paca.fr/article/tempete

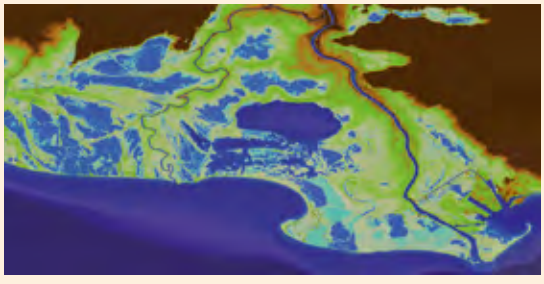
MODÉLISATION DE LA SUBMERSION MARINE EN CAMARGUE

Le littoral de la Camargue est un territoire particulièrement vulnérable aux risques côtiers tels que l'érosion côtière et la submersion marine. En conséquence, son évolution morphologique future sera fortement dépendante de l'élévation du niveau de la mer attendue au cours du XXI^{ème} siècle. C'est également un territoire où les réflexions et les initiatives sont nombreuses et nécessitent une action coordonnée des acteurs publics en termes de gestion de la bande littorale et d'exposition au risque d'érosion des plages et de submersion marine.

Dans le cadre de cette étude, un modèle numérique a été développé pour réaliser des simulations dynamiques de submersion marine, conséquence de tempêtes impactant le littoral camarguais.

Le modèle vise à apporter des éléments d'aide à la décision à la Direction Départementale des Territoires et de la Mer des Bouches-du-Rhône pour évaluer précisément l'extension de la submersion marine sur les surfaces terrestres de la Camargue et du golfe de Fos-sur-Mer, pour des échéances actuelle et future, en prenant en compte une remontée du niveau marin liée au changement climatique global.

Il permet également de tester différents scénarios d'aménagements (abandon ou construction de digues) pour la gestion du risque de submersion marine en Camargue.



Modèle numérique de terrain terre-mer du delta de la Camargue.
© BRGM

SENSIBILITÉ DES PLAGES DE POCHES FACE AUX PHÉNOMÈNES DE SUBMERSION MARINE ET D'ÉROSION CÔTIÈRE EN HAUTE-CORSE, DE BASTIA À GALÉRIA

Le domaine littoral, à l'interface entre le continent et la mer, est particulièrement sensible à l'intervention humaine ainsi qu'aux changements environnementaux et climatiques. La stabilité de cet environnement conditionne l'évolution du trait de côte et ses répercussions sur les activités humaines.

À l'heure actuelle, les scénarios de réchauffement global suggèrent une accélération de la montée du niveau marin et une altération des régimes climatiques affectant la pluviosité et la fréquence et/ou l'intensité des tempêtes. Ces modifications peuvent entraîner une accélération de l'érosion côtière tant sur les côtes basses que sur les falaises, des changements du transport des sédiments et un risque plus élevé de submersion côtière.

Une quarantaine de plages de Haute-Corse a donc fait l'objet d'une analyse de sensibilité face aux phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine. Le rôle positif des banquettes de posidonies sur l'évolution de la position du trait de côte a été démontré, leur dynamique reste toutefois à explorer. La mise en relation des phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine en lien avec la présence d'enjeux sur le linéaire côtier a permis de proposer un panel d'actions limitant l'impact de ces phénomènes sur les secteurs les plus vulnérables.

Exemple de plage de poches : plage de Corbara (Haute-Corse).
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

ESTIMATION DES ALÉAS SUBMERSION MARINE POUR LES PLANS DE PRÉVENTION DES RISQUES LITTORAUX : TRAVAUX DU BRGM

En 2014, la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère chargé de l'Environnement a diffusé un nouveau guide méthodologique pour l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux (PPRL). Le BRGM a contribué à ce guide, qui apporte des précisions notables en particulier sur les chapitres concernant la recherche historique, la détermination de l'évènement naturel de référence, la prise en compte des ouvrages de protection, la cartographie de l'aléa "submersion marine" et la prise en compte du changement climatique.

Une part significative des travaux du BRGM dans le domaine des risques côtiers porte sur l'estimation des aléas : recul du trait de côte, submersion marine, voire recul dunaire. Depuis la parution du nouveau guide, le BRGM a caractérisé et cartographié les aléas submersion marine pour les PPRL suivants : bassin d'Arcachon, Hendaye, Saint-Jean-de-Luz, La Réunion et Dieppe. Ces travaux s'appuient, entre autres, sur une analyse historique des évènements de tempête, des méthodes de traitement spécifique de données topo-bathymétriques, des relevés de terrain, des analyses de statistiques d'extrêmes et de probabilités conjointes, des modélisations hydrodynamiques (vagues, niveau d'eau, franchissement par paquet de mer, débordement, rupture d'ouvrage) et des travaux cartographiques. En 2016, les travaux et cartes d'aléa submersion marine réalisés sur les 10 communes du bassin d'Arcachon, pour la DDTM de Gironde, ainsi que sur le secteur d'Hendaye, pour la DDTM des Pyrénées-Atlantiques, ont été publiés.

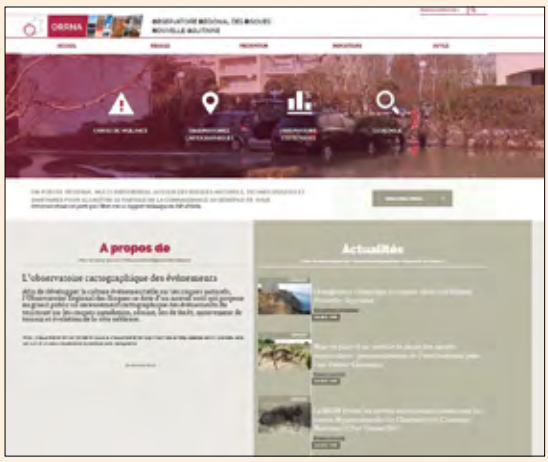
La Faute-sur-Mer (Vendée) le 28/02/2010 (tempête Xynthia).
© Jean-Paul Bichon

DÉVELOPPER LA CULTURE DU RISQUE AVEC L'OBSERVATOIRE RÉGIONAL DES RISQUES NOUVELLE-AQUITAINE

Fin 2015, la DREAL Nouvelle-Aquitaine a initié, en tant que maître d'ouvrage, le lancement de l'Observatoire Régional des Risques Nouvelle-Aquitaine (ORRNA : https://www.observatoire-risques-nouvelle-aquitaine.fr/). Il s'agit d'un portail régional multi-partenarial autour des risques naturels, technologiques, chroniques et sanitaires destiné à accroitre le partage des connaissances. Cet observatoire, dont le support technique est assuré par le Groupement d'Intérêt Public ATGeRi (Aménagement du Territoire et Gestion des Risques), est destiné à devenir un outil de référence pour développer la culture du risque et favoriser l'information préventive sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine.

Depuis le lancement du portail, le BRGM, dans le cadre de sa mission régalienne de collecte, de capitalisation et de diffusion des connaissances en lien avec les risques naturels, est identifié comme un partenaire technique privilégié pour contribuer à l'enrichissement de cet outil.

Ainsi, dans le cadre de partenariats avec la DREAL Nouvelle-Aquitaine, le BRGM partage ses données sur le thème des risques naturels et rédige différents articles dédiés aux inondations, aux séismes, aux mouvements de terrain et à l'évolution de la côte sableuse.



Page d'accueil de l'Observatoire Régional des Risques Nouvelle-Aquitaine.
© ORRNA

ÉTUDES MULTI-ALÉAS ET ANALYSE MULTICRITÈRES SUR LE SECTEUR LITTORAL DE PETIT-BOURG (GUADELOUPE) : IMPLICATION POUR LA RELOCALISATION SPATIALE DES ACTIVITÉS ET DES BIENS FORTEMENT EXPOSÉS

Dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte, le Ministère chargé de l'Environnement a lancé, en 2012, auprès des collectivités locales intéressées, un appel à projet de "Relocalisation spatiale des activités et des biens fortement exposés dans les territoires à risques littoraux". La commune de Petit-Bourg, avec la Communauté d'Agglomération du Nord Basse-Terre (CANBT), et en collaboration avec l'Agence des 50 pas géométriques de la Guadeloupe (AG50), est la seule collectivité d'Outre-mer à avoir été retenue dans le cadre de cet appel avec un projet sur la commune de Petit-Bourg, concernant les sites de Bovis, Bel-Air et Pointe-à-Bacchus.

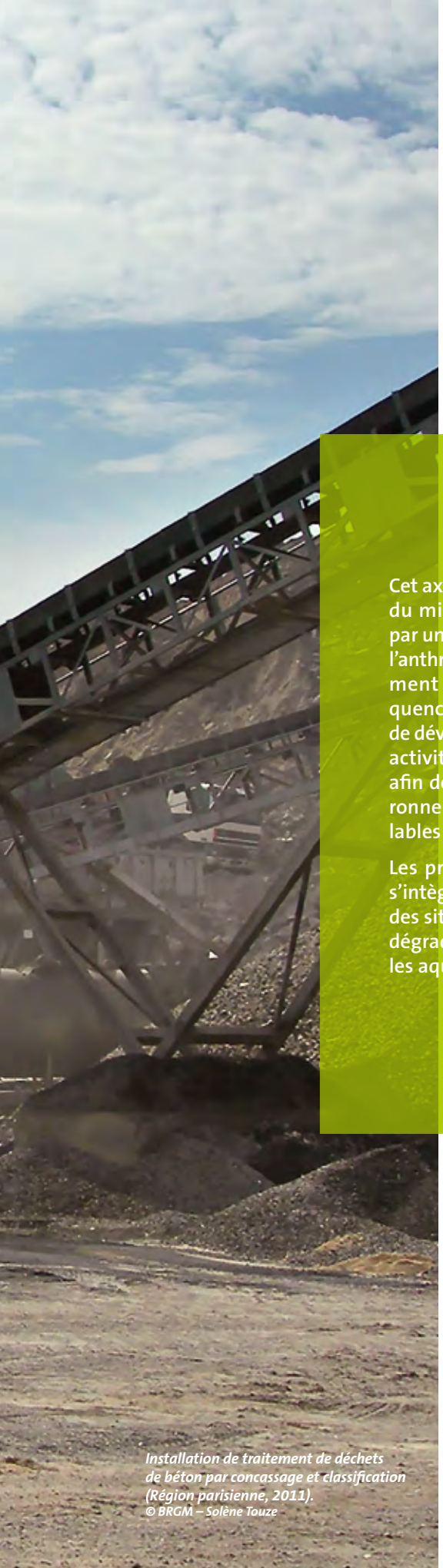
Au cours de ce projet, il est apparu que de nombreuses incertitudes demeurent encore, en lien avec les aléas mouvements de terrain et l'érosion côtière, en particulier sur :

- l'adéquation entre les cartes d'aléa mouvements de terrain disponibles et les décisions à prendre en termes de relocalisation des biens ;
- la transposition de ces cartes d'aléa en termes de position du trait de côte (ou de la crête de falaise) à différentes échéances ;
- l'apport d'éventuels ouvrages de protection ou de réduction de l'aléa ;
- l'applicabilité de la loi Letchimy (qui apporte des solutions afin de traiter au mieux les situations spécifiques tant sur le plan humain que sur le plan opérationnel dans le cadre de la politique de résorption de l'habitat indigne) concernant la notion de menace grave pour les vies humaines ;
- les décisions à prendre pour les constructions situées pour partie seulement sur les zones d'aléa fort mais qui ne seraient pas en zone où les vies humaines sont menacées gravement.

En 2016, le BRGM et la DEAL Guadeloupe, en collaboration avec la commune de Petit-Bourg, la CANBT et l'AG50, ont ainsi mené un projet intitulé "Études multi-aléas et analyse multicritères sur le secteur littoral de Petit-Bourg : implication pour la relocalisation spatiale des activités et des biens fortement exposés" pour apporter des éléments de réponses concrets à l'ensemble de ces questions.

Études multi-aléas et analyse multicritères sur le secteur de Pointe-à-Bacchus, Petit-Bourg, Guadeloupe.

QUALITÉ ET USAGE DES MILIEUX



Installation de traitement de déchets de béton par concassage et classification (Région parisienne, 2011).
© BRGM – Solène Touze

Cet axe couvre les travaux relatifs à la protection du milieu naturel (hydrosphère et biosphère) par une gestion maîtrisée des interactions entre l'anthroposphère et la géosphère. Il s'agit notamment d'assurer une remédiation des conséquences du passé industriel dans une optique de développement durable et d'accompagner les activités anthropiques, actuelles ou projetées, afin de réduire leurs effets délétères sur l'environnement et sur les ressources non renouvelables par une minimisation de leur empreinte.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes : "Remédiation des sites et sols pollués", "Reconquête des sites dégradés" et "Transfert des contaminants dans les aquifères".

104
REMÉDIATION DES SITES ET SOLS POLLUÉS

105
RECONQUÊTE DES SITES DÉGRADÉS

108
TRANSFERT DES CONTAMINANTS DANS LES AQUIFÈRES

110
PROJETS REMARQUABLES

REMÉDIATION DES SITES ET SOLS POLLUÉS

Ce programme concerne la gestion des anciens sites industriels pollués. Il est essentiellement axé sur la caractérisation et la compréhension des principaux mécanismes entraînant la contamination des sols, des eaux et des sédiments, et sur le développement de méthodes et de techniques innovantes permettant de traiter et de réhabiliter un site.

Fig. 48 - Vue d'un jardin impacté par des huiles de moteurs suite aux inondations de juin 2016 (Nemours).
© BRGM

Dans le cadre de ses missions d'appui technique pour le Ministère chargé de l'Environnement, les services de l'État et les collectivités territoriales, le BRGM s'attache à valoriser son savoir-faire, via l'élaboration de documents normatifs et de guides méthodologiques répondant à des besoins de l'ensemble des parties prenantes dans le domaine des sites et sols pollués.

APPUI TECHNIQUE POUR LA RÉVISION DES TEXTES RELATIFS À LA MÉTHODOLOGIE NATIONALE DE GESTION DES SITES ET SOLS (POTENTIELLEMENT POLLUÉS)

En matière de sites et sols pollués, les démarches de gestion mises en place s'appuient sur les principes suivants : prévenir les pollutions futures, mettre en sécurité les sites nouvellement découverts, connaître, surveiller et maîtriser les impacts, traiter et réhabiliter en fonction de l'usage puis pérenniser cet usage, garder la mémoire et impliquer l'ensemble des acteurs.

Le Ministère chargé de l'Environnement a la charge de la définition des politiques publiques en matière de sols pollués.

Depuis les années 90, différentes instructions ministérielles ont été diffusées et des outils de gestion, conçus sous forme de guides méthodologiques, ont été mis à la disposition des différents acteurs du domaine. Les textes de gestion des sites pollués du 8 février 2007 constituent une base méthodologique robuste et reconnue par les acteurs du domaine.

Pour tenir compte des évolutions réglementaires, méthodologiques, toxicologiques et du retour d'expérience acquis depuis 2007, avec l'appui technique de l'ADEME, du BRGM et l'INERIS, le Ministère chargé de l'Environnement a élaboré en 2015 un projet de guide méthodologique. Ce guide a été mis en consultation en 2016 auprès de l'ensemble des acteurs concernés et édité en 2017[11].

CERTIFICATION ET NORMALISATION

Dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, le BRGM apporte un appui d'expert au Ministère chargé de l'Environnement et aux différentes instances nationales, européennes et internationales dans le domaine des sites et sols pollués. À ce titre, il fournit des avis et participe aux différents groupes de travail nationaux et internationaux tant sur les aspects réglementaires, techniques et scientifiques que normatifs.

Les normes relatives aux prestations dans le domaine des sites et sols pollués, ainsi que le référentiel de certification, seront actualisés en 2017.

[11] *Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, Ministère chargé de l'Environnement, Direction générale de la Prévention des Risques, Bureau du Sol et du Sous-Sol, Avril 2017.*

EXPERTISES ET ASSISTANCES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

En 2016, le BRGM a poursuivi ses activités de tierce expertise pour les dossiers relatifs aux installations classées et aux sites pollués : appuis aux collectivités territoriales et aux maîtres d'ouvrage sur les dossiers de réhabilitation et évaluations de l'impact des stockages de déchets.

Le BRGM est notamment intervenu en appui de la mairie de Nemours pour la gestion des pollutions par des huiles usagées faisant suite aux inondations de juin 2016 en tant qu'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) pour la dépollution des zones publiques et orphelines impactées par ces huiles usagées ***(Fig.48)***.

FACTEURS DE DILUTION

Les facteurs de dilution peuvent être utilisés comme outil décisionnel relatif à la poursuite des investigations dans l'air intérieur dans le cas d'aménagements existants au droit d'un site pollué, du fait d'anciennes activités industrielles

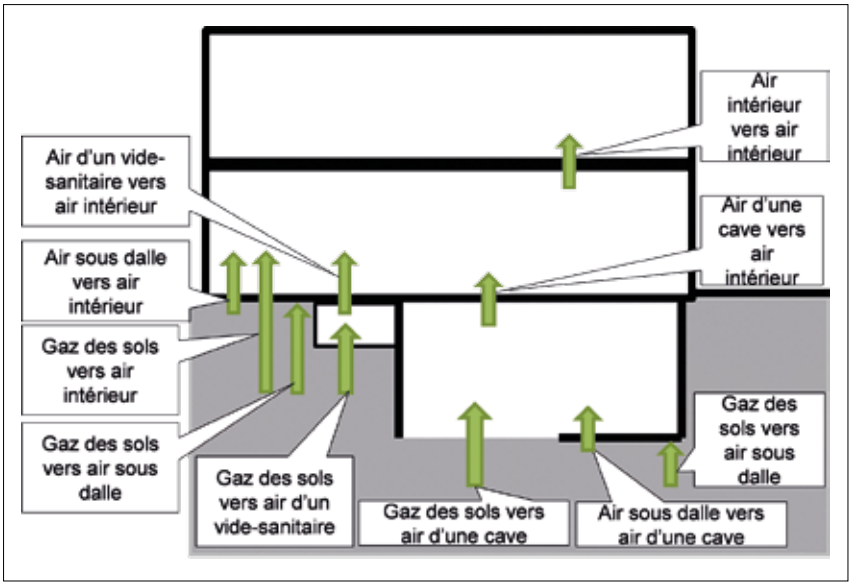


Fig. 49 - Schématisation des chemins de transfert potentiels de composés volatils des gaz du sol vers l'air intérieur. Les flèches représentent les différents facteurs de dilution possibles selon les points de prélèvement réalisés.

par exemple. Ils permettent en effet, comme dans le cadre de la démarche mise en œuvre pour les établissements sensibles (ETS), de statuer sur la nécessité de la poursuite d'investigations avec la réalisation de mesures dans l'air intérieur si les concentrations de subsurface pondérées par le facteur d'atténuation dépassent une valeur seuil définie pour l'air intérieur.

En 2015 et 2016, le BRGM a eu pour mission, dans le cadre d'une action menée avec le Bureau du sol et du sous-sol (B3S) de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère chargé de l'Environnement, de réaliser un retour d'expérience sur l'utilisation des facteurs de dilution lors de l'interprétation des résultats des diagnostics environnementaux réalisés dans le cadre de la démarche ETS.

Différentes analyses statistiques des données acquises dans le cadre de la démarche ETS (description statistique univariée, étude statistique bivariée par l'utilisation du coefficient de Spearman, étude statistique multivariée par Analyse en Composantes Principales...) ont ainsi permis de proposer à l'ensemble des professionnels des sites et sols pollués des facteurs de dilution génériques (rapport en cours d'édition) ***(Fig.49)***.

VALORISATIONS RÉALISÉES

Optimiser la reconquête des friches : du territoire à la parcelle, *Environnement & Technique N°356 - Mars 2016 – Focus Sites et sols pollués*
Mathilde Scamps, Lucien Callier, Elsa Limasset et Jean-François Brunet.

Méthodologie de gestion, les évolutions proposées en 2016, *Journée Technique "Sécurisation des projets de dépollution", Pôle de compétitivité AXELERA, 04/04/2016, Lyon.*

La matrice activité-polluant, séminaire *"Connaissance et gestion des rejets de micropolluants vers les eaux", 23/05/16, Paris.*

RECONQUÊTE DES SITES DÉGRADÉS

La stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2015-2020 identifie quatre enjeux écologiques majeurs dont la perte accélérée de la biodiversité, la raréfaction des ressources (dont la ressource sol) et la multiplication des risques sanitaires environnementaux.

La reconquête des sites et sols dégradés (réutilisation des sols pollués, requalification des friches en milieu urbain...) constitue ainsi un levier d'action des politiques publiques pour la transition écologique.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 17 août 2015 a quant à elle introduit un volet sur la promotion de l'économie circulaire en le rattachant principalement au recyclage. Les objectifs de la politique de prévention et de gestion des déchets sont bien de réduire leur production et de diminuer leur dangerosité, de les gérer sans nuire à l'environnement, de les recycler ou les valoriser en priorité en les traitant au plus près de leur lieu de production pour respecter le principe de proximité.

Pour répondre à ces enjeux et accompagner les actions des acteurs publics, ce programme développe des outils méthodologiques, notamment de caractérisation et de suivi des impacts environnementaux et propose une analyse technico-économique et environnementale des procédés et des filières de gestion des déchets, de l'utilisation de la matière jusqu'à leur stockage final dans l'environnement.

ÉTABLISSEMENTS SENSIBLES

Le regroupement de cancers pédiatriques chez des enfants de l'école Franklin Roosevelt à Vincennes a suscité une vive émotion et donné lieu à de fortes interrogations quant à la pertinence de la prévention des risques sanitaires et environnementaux. En 2001, le Gouvernement a demandé au Ministère chargé de l'Environnement d'examiner les risques qui pourraient exister du fait de l'implantation d'établissements tels que les crèches et les écoles sur/ou à proximité immédiate d'anciens sites industriels potentiellement pollués.

Une démarche d'anticipation environnementale a été engagée visant à vérifier l'état des sols de l'ensemble des établissements accueillant des enfants et des adolescents construits sur d'anciens sites industriels.

Cette démarche a ensuite relevé de l'article 43 de la loi de programmation du 5 août 2009 relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement. Engagée depuis 2010, elle constitue désormais l'une des dix actions phare du troisième Plan National Santé Environnement (PNSE3) (2015-2019).

Pour assurer la mise en œuvre des diagnostics, garantir son équité et son homogénéité sur l'ensemble du territoire et maitriser les coûts financiers liés à cette opération, le Ministère chargé de l'Environnement a confié une mission de Maîtrise d'Ouvrage Déléguée au BRGM et s'appuie notamment sur un groupe de travail pour valider les résultats des diagnostics.

Au 1er avril 2017, 1 368 établissements ont été diagnostiqués. Les résultats des diagnostics réalisés montrent que :

- dans 809 établissements (59 % des cas), des pollutions liées aux anciennes activités industrielles ont été retrouvées ;
- 127 établissements comportent des sources de pollutions métalliques ou volatiles, les enfants ou les occupants étant en contact avec ces pollutions ;
- 33 établissements comportent des sources de pollutions volatiles. Cependant, les enfants ou les occupants ne sont pas, pour le moment, en contact avec ces pollutions.

Au total, des sources de pollutions ont été mises en évidence dans 159 établissements, c'est-à-dire dans plus de 12 % des cas. Pour ces établissements, des mesures de gestion environnementale sont à mettre en œuvre pour rétablir la qualité des milieux avec l'usage. Pour trois d'entre eux, qui présentaient notamment une qualité de l'air particulièrement dégradée, les mesures de gestion ont consisté en la fermeture de l'ensemble des locaux.

Au-delà de la réalisation des diagnostics, cette démarche a notamment permis, entre autres, d'initier un travail de normalisation des pratiques analytiques des laboratoires et de collecter des échantillons de sols en surface en milieu urbain pour établir un Fond Géochimique Urbain (FGU). Réalisé avec le soutien de l'ADEME, à l'échelle de la France, les données seront diffusées au travers de la base BDSolU (www.bdsol.fr).

GUIDES DE RECOMMANDATIONS POUR LE STOCKAGE DE DÉCHETS NON DANGEREUX (ISDND)

Depuis plusieurs années, le BRGM s'inscrit en appui technique du Ministère chargé de l'Environnement pour l'élaboration de guides techniques relatifs aux installations de stockage de déchets et co-anime, avec le Bureau de Prévention et de Gestion des Déchets, des groupes de travail regroupant les professionnels.

Deux guides méthodologiques ont été revus ou élaborés en 2016 (édition prévue en 2017) :

- Révision du "Guide de recommandations pour l'évaluation de l'équivalence en étanchéité passive de stockage de déchets", guide édité en 2009 dans sa deuxième version ;
- Engagé en 2014, le guide de recommandations pour la rehausse de casiers d'installations de stockage de déchets non dangereux va être édité en 2017. Les exploitants d'Installations de Stockage de Déchets rencontrent en effet actuellement des difficultés pour l'extension ou la création de sites. Ces difficultés sont dues notamment à une pression foncière accrue ainsi qu'à l'acceptabilité sociale de ces installations. En raison de ce contexte, les projets de création de nouveaux casiers en appui total ou partiel sur des casiers plus anciens (technique du "piggybacking") sont de plus en plus nombreux. Ce guide proposera des recommandations et des orientations techniques appliquées à ces projets.

Durant l'année 2016, le BRGM a également rédigé, à la demande du Ministère chargé de l'Environnement, un guide relatif à l'adaptation des dispositifs de confinement des casiers de stockage de sédiments. Cette possibilité d'adaptation est prévue par l'Arrêté Ministériel du 15 février 2016, sous réserve de produire une étude d'évaluation des risques pour l'environnement dus aux dispositifs de confinement alternatifs envisagés. Ce guide sera mis en consultation en 2017 auprès d'un groupe de travail constitué du Ministère chargé de l'Environnement, de professionnels du stockage (exploitants, bureaux d'études) et de gestionnaires (VNF,...).

VALORISATION DES BOUES DE DRAGAGE ET DES TERRES EXCAVÉES

L'élaboration de guides méthodologiques encadrant la valorisation des boues de dragage et des terres excavées permet de sécuriser ces filières et d'accompagner la montée en puissance de la valorisation de ces déchets.

Boues de dragage

Depuis une vingtaine d'années, l'amélioration des diagnostics et des connaissances, le développement d'une plus grande sensibilité de l'État et de la société aux impacts environnementaux des activités humaines ainsi que le manque progressif de terrains de stockage définitif à terre ont remis en cause les pratiques actuelles de gestion. En conséquence, une demande de nouveaux débouchés à terre des sédiments dragués a émergé.

Au cours des dernières années, le BRGM a participé à des groupes de travail, sous l'égide du Ministère chargé de l'Environnement, pour améliorer la caractérisation des sédiments dragués en vue de sécuriser leur gestion à terre. Il participe également à l'élaboration des guides d'application "fils" de valorisation de ces matériaux en technique routière.

Terres excavées

Le BRGM poursuit son appui au Ministère chargé de l'Environnement, en collaboration avec le CEREMA, pour l'élaboration de guides méthodologiques sur la valori-

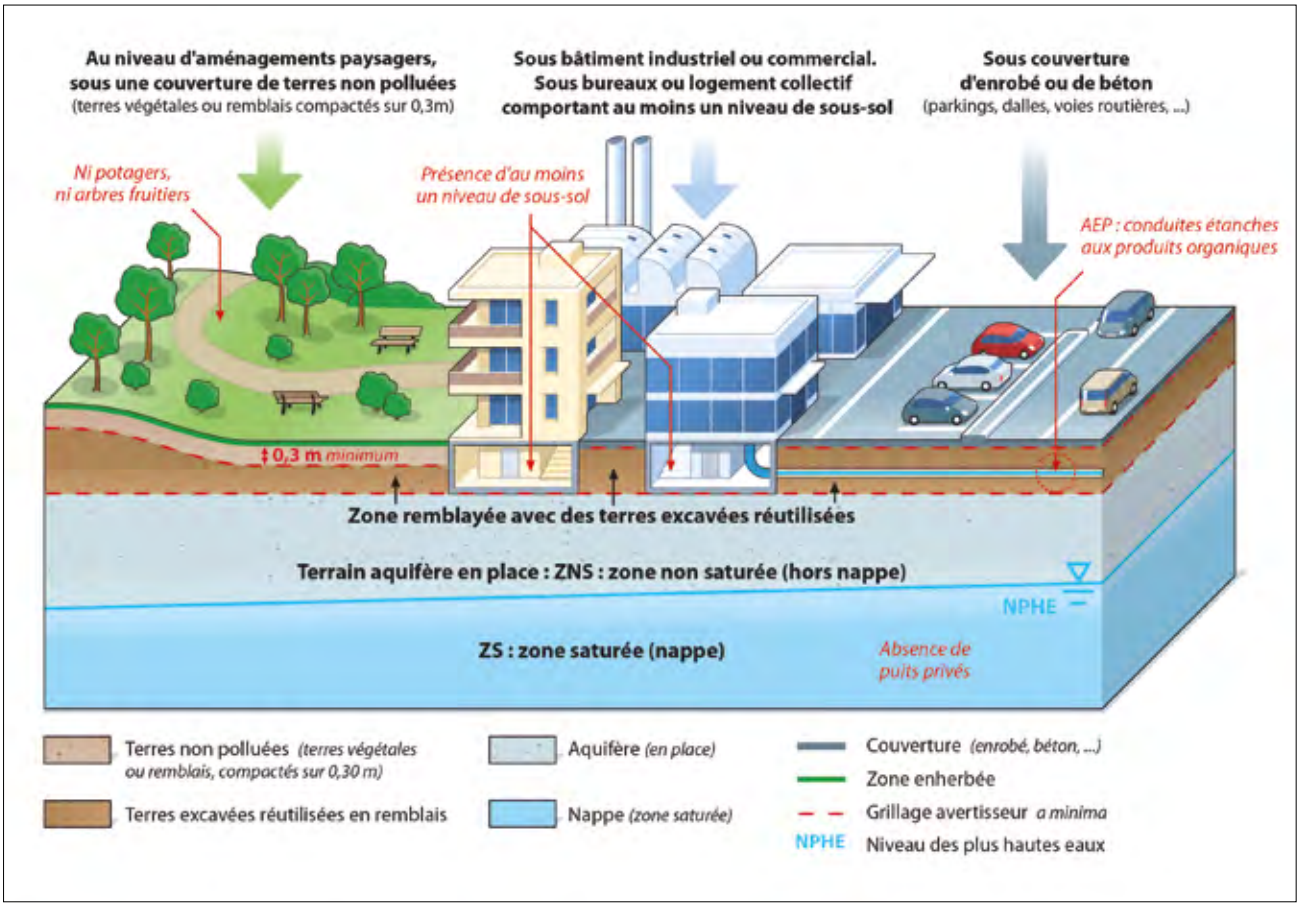


***Fig. 50** - Schéma de principe de la réutilisation en projet d'aménagement de terres excavées selon les scénarios résidentiel collectif, bureau, commercial, industriel et espaces verts non privatifs.*

sation des terres (en aménagement ou en technique routière) issues de sites pollués ou de terres dites naturelles en veillant à assurer la cohérence entre les différents guides produits et avec la méthodologie nationale SSP.

Une révision du guide de réutilisation hors site des terres excavées issues de sites et sols pollués dans des projets d'aménagement a eu lieu en 2015-2016. Les discussions au sein du groupe de travail "terres excavées" ont en effet permis de mettre au point une méthodologie générique, basée sur trois niveaux de caractérisation des terres excavées, comportant chacun des valeurs-seuils libératoires basées essentiellement sur des données de bruit de fond géochimique et des calculs de risques sanitaires ***(Fig.50)***. La nouvelle version du guide a été mise en consultation. Il sera édité en 2017.

DÉCHETS D'AMIANTE

À la demande du Ministère chargé de l'Environnement et du Bureau de Prévention et de Gestion des Déchets (BPGD), le BRGM a réalisé une étude[12] visant à établir une estimation des quantités de déchets d'amiante produites sur le territoire de France métropolitaine et de les confronter aux capacités des exutoires habilités à les éliminer. Il s'agissait ensuite de dresser une analyse prospective de cette situation, en la projetant sur les horizons de 10 ans et 20 ans. Si, à l'échelle départementale, le recensement des exutoires existants en 2013 (installations de stockage de déchets dangereux, non dangereux et installations de vitrification) fait apparaître une forte disparité avec une quarantaine de départements métropolitains ne possédant aucun exutoire autorisé à recevoir des déchets d'amiante, à l'échelle nationale, les exutoires sont largement en capacité à gérer le gisement actuel, estimé, en 2013, à plus de 600 000 tonnes. Ces déchets sont générés majoritairement par les chantiers du BTP (désamiantage des bâtiments, fraisâts d'enrobés, terres amiantifères excédentaires des chantiers de terrassement...). À l'horizon 2033, la répartition régionale du gisement de déchets d'amiante attendus met en évidence une situation en capacité de stockage excédentaire, voire largement excédentaire, à l'exception de la Bretagne, des trois régions du sud de la France et de la Corse, qui seraient quant à elles déficitaires.

[12] *Recueil de notes chiffrées sur les gisements de déchets d'amiante au regard des filières de traitements disponibles.*

TRANSFERT DES CONTAMINANTS DANS LES AQUIFÈRES

La compréhension du comportement et du transfert des polluants dans les eaux souterraines constitue un enjeu majeur pour la gestion de la ressource en eau.

Elle est indispensable à la prédiction de l'évolution naturelle des concentrations ou au suivi de l'efficacité des mesures mises en place pour réduire l'impact des activités anthropiques (agriculture, industries, pression urbaine). Elle sert de fondement à l'ajustement des plans de surveillance des éléments chimiques, présents dans les eaux, nécessaires à l'évaluation et la prévention de l'exposition des populations.

GESTION DE LA QUALITÉ DES EAUX VIS-À-VIS DES POLLUTIONS DIFFUSES

Les pollutions diffuses sont gérées en s'appuyant sur diverses directives (dont la Directive Nitrates 91/676/CEE, la Directive-Cadre sur l'Eau 2000/60/CE et la Directive "Eaux souterraines" 2006/118/CE) qui ont amené à la construction progressive d'un ensemble de réglementations et plans d'action. Les besoins de surveillance et de connaissance sur l'origine et le transfert de polluants font régulièrement l'objet de projets sur l'ensemble du territoire. Sur l'île de La Réunion, plusieurs sites (aires d'alimentation de captage, entités BDLISA, secteurs) font ainsi l'objet, depuis 2016, d'une analyse fine de l'origine du nitrate par l'utilisation de plusieurs traceurs chimiques et isotopiques visant *in fine* à la validation d'une méthodologie spécifique au contexte volcanique.

Des études comme celles réalisées en Picardie sur l'évolution du transfert de nitrate des sols vers les eaux souterraines, ou de diagnostic sur l'évolution de la qualité des eaux souterraines, à l'image de l'expertise sur la nappe alluviale de l'étang de Berre, sont régulièrement menées. Elles permettent l'acquisition de paramètres et d'informations essentielles à la mise en place de plans d'actions comme le suivi des vitesses de transfert des polluants, de la (possible) dénitrification ou des inversions de tendance d'évolution.

Des actions indirectes, comme la définition des périmètres de protection ou la délimitation des zones vulnérables aux nitrates, doivent également être menées pour une meilleure prise en compte des recommandations. Ainsi, des avis sont régulièrement demandés par les DREAL sur les délimitations des aires d'alimentation de captage ou sur les périmètres de protection comme sur la commune de Saint-Dizier-l'Évêque (Territoire de Belfort) où le diagnostic a également porté sur la cartographie de la vulnérabilité du captage d'alimentation en eau potable.

Une analyse du contexte hydrogéologique de la plaine du Roussillon a permis de donner un avis d'expert sur la délimitation des zones vulnérables aux nitrates et d'apporter des éléments de réponse sur :

- la représentativité des points du réseau de suivi des nappes du Plio-Quaternaire, en particulier de ceux dépassant la valeur seuil de 50 mg/L ;
- l'hétérogénéité des nappes du Plio-Quaternaire et leur caractère compartimenté. Des recommandations pour une éventuelle sectorisation de ces nappes du Plio-Quaternaire au regard de la masse d'eau dans sa globalité ont été émises.

CONTAMINATION LOCALE DES EAUX SOUTERRAINES PAR DES ÉLÉMENTS MÉTALLIQUES D'ORIGINE NATURELLE POSSIBLE

Les travaux menés sur l'ensemble du territoire de 2004 à 2006, puis en 2006-2007 sur plusieurs départements d'Outre-mer, ont permis de mettre en avant un certain nombre de micropolluants qui peuvent être naturellement présents dans les eaux souterraines à des concentrations élevées. Des études récentes à l'échelle de bassins ont été menées, notamment en Seine-Normandie, ou sont en cours comme en Loire-Bretagne. L'acquisition de données de qualité à des limites de quantification basses a permis également en 2015 de définir les concentrations de référence attendues par typologie d'aquifères.

D'autres études s'attachent à combiner l'analyse du fond hydrogéochimique des eaux souterraines à celle des eaux de surface, la méthodologie se basant sur une approche identique. Ainsi l'étude du fond hydrogéochimique des cours d'eau de Martinique, achevée en 2016, apporte des éléments techniques permettant de proposer de nouvelles valeurs de référence pour répondre aux exigences réglementaires de la DCE par zones géologiques et géographiques représentatives. Le cuivre connait par exemple un fond hydro-géochimique élevé avec des dépassements de la norme de qualité environnementale (NQE=1 µg/l) dans le secteur sud de l'île. Les concentrations naturelles pour l'ensemble des éléments considérés sont par ailleurs très hétérogènes dans le temps comme dans l'espace.

À des échelles plus locales, des études détaillées et plus complexes, du fait de la nécessité de prendre en compte notamment divers processus hydrogéochimiques, sont menées.

Ainsi, en 2007, une pollution des eaux souterraines au mercure a été mise en évidence à Veney en Meurthe-et-Moselle. En 2016, une étude a été menée pour préciser l'origine naturelle ou anthropique du mercure identifié. Une campagne de terrain a été réalisée afin d'échantillonner les trois points d'eau contaminés ainsi qu'une source amont non contaminée. Un ensemble d'analyses physico-chimiques, chimiques et isotopiques a été mis en œuvre. Il conduit à penser qu'une source naturelle de mercure est envisageable. En effet, la faille de Veney et la présence de roches éruptives et volcano-sédimentaires à proximité de Veney, rendent possible l'existence d'une source de mercure ainsi que sa migration.

L'orpaillage, et en particulier l'orpaillage illégal, constitue une des principales pressions sur les masses d'eau de surface de Guyane. Les impacts consistent principalement en une augmentation des teneurs en mercure dans les sédiments et dans les matières en suspension (MES) ainsi qu'une augmentation du méthyl-mercure, très toxique, qui s'accumule dans la chaine trophique. L'étendue du territoire, le caractère isolé de l'activité et le nombre de masses d'eau impactées, rendent difficile la mise en place d'un réseau de contrôles opérationnels sur la totalité des masses d'eau de surface. Il est ainsi

très difficile d'estimer le linéaire de cours d'eau impacté par les activités minières en tenant compte des situations d'extraction légales ou illégales. Il convient donc de développer de nouveaux outils de suivi de la pression et des impacts à grande échelle. Dans ce but, un projet a été lancé en 2016, avec le soutien de l'ONEMA (aujourd'hui AFB) et de la DEAL de Guyane, afin de caractériser les flux de mercure à l'aval de sites miniers, l'évolution de la turbidité et, à proximité d'un site minier étudié, le relargage du mercure lié à la déforestation. Les premières campagnes de prélèvement et d'analyses ont été menées et les résultats sont attendus pour 2018.

NOUVEAUX CONTAMINANTS

Un colloque a été organisé par la Société Hydrotechnique de France (SHF) et le BRGM, en 2016, à Orléans, sur "Les polluants émergents : de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines". Les résultats de divers travaux récents réalisés par le BRGM y ont été présentés. On peut notamment citer les études en appui au Ministère chargé de l'Environnement sur la priorisation des molécules à surveiller dans le cadre de la Directive-Cadre sur l'Eau, les travaux du groupe européen sur les eaux souterraines ou encore l'étude de l'origine des perchlorates dans les eaux du sud du Bassin de Paris.

Créé en 2015 au sein du réseau NORMAN (réseau de laboratoires de référence, de centres de recherche et d'organisations en lien avec la surveillance des substances environnementales émergentes), le groupe de travail "Eau souterraine", coordonné par le BRGM, compte une trentaine de membres issus de douze pays européens. En 2016, les avancées majeures ont consisté en l'élaboration et la validation d'une méthode globale de priorisation des substances émergentes dans les eaux souterraines. La participation au sein du groupe eau souterraine de la stratégie commune pour la mise en œuvre de la Directive-Cadre sur l'Eau (CIS WGGW) a mené à la constitution d'une liste de vigilance pour les eaux souterraines recensant les polluants émergents qui pourraient être ajoutés aux programmes de surveillance des pays membres considérant que ces polluants peuvent présenter un risque de non atteinte des objectifs environnementaux.

Dans le cadre de travaux transfrontaliers (France, Suisse, Allemagne) du projet Interreg ERMES-Rhin 2016 (Évolution de la Ressource en Eau et Monitoring des Eaux Souterraines du Rhin supérieur), le BRGM a apporté son expertise scientifique pour l'étude de polluants récurrents et émergents impactant la masse d'eau "Pliocène de Haguenau et nappe d'Alsace". Un inventaire transfrontalier de la qualité de la nappe rhénane a ainsi été réalisé en parallèle dans les trois pays partageant la ressource en eau souterraine. Le BRGM a donné un avis d'expert sur les critères de choix des molécules à suivre et la sélection de ces molécules et l'échantillonnage.

Un grand nombre de pesticides et métabolites de pesticides et de nombreux polluants d'origine industrielle s'inscrivent parmi les "nouveaux polluants" ***(Fig.51)***. L'association de spécialistes de la Directive-Cadre sur l'Eau et de la surveillance des sites et sols pollués est indispensable à une gestion adéquate de ces contaminants. L'étude de la pollution des eaux souterraines au tétrachlorure d'éthylène du captage AEP de Scherwiller et de Sélestat s'est ainsi basée sur une approche hydrogéologique, un bilan et l'identification des enjeux, la définition d'une stratégie de gestion et l'évaluation du plan de gestion de la pollution. Le site d'étude a dû être élargi pour tenir compte de toutes les sources potentielles de pollution et de la dynamique des eaux souterraines.

Fig. 51 - Eau contaminée en métaux lourds.
© BRGM - B. Lemière

VALORISATIONS RÉALISÉES

Aunay B., Gourcy L., Renaud T. (2016). A robust hydrochemical and isotopic method for urban and agricultural origins of nitrate in groundwater. *In 43rd IAH CONGRESS, Montpellier, France, September 2016.*

Lopez B., J.F. Vernoux, F. Barrez, A. Brugeron (2016). Origine de la pollution par les perchlorates de captages en eaux souterraines soumis à une pression agricole. *In Les polluants émergents : de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines ?, Orléans, France, May 2016.*

Ducreux L. (2016). Hydrogeological functioning and groundwater contamination of two contrasted tropical volcanic basins belonging to the Observatory of Agricultural Pollution *in the West Indies (OPALE) - E-poster n°2073. Session n°8.02.*

Charlier J.B., B. Ladouche, Y. Caballero, J. Lions, E. Lucas (2016). What drives the long-term evolution of water quality in the Jura Mountains? A combined analysis of climate and anthropic impacts. *In Eurokarst 2016, Neuchâtel, France, September 2016.*

Lopez B., Ghestem J.-P., Bonneville S. (2016). Sélection et priorisation des substances à surveiller dans les eaux souterraines au titre de la DCE. Colloque SHF-BRGM. *Les polluants émergents : de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines ? 19-20 mai 2016, Orléans.*

Togola A., Lopez B., Soulier C. (2016). Surveillance des polluants émergents : identification de marqueurs pertinents. Colloque SHF-BRGM. Les polluants émergents : de nouveaux défis pour la gestion des eaux souterraines ? *19-20 mai 2016, Orléans.*

Renaud T., Aunay B., Gourcy L. (2016). Détermination de l'origine urbaine ou agricole des nitrates dans les eaux souterraines par une approche hydrochimique et multi-isotopique sur l'île de La Réunion. *Géologues, 191 : 89-93.*

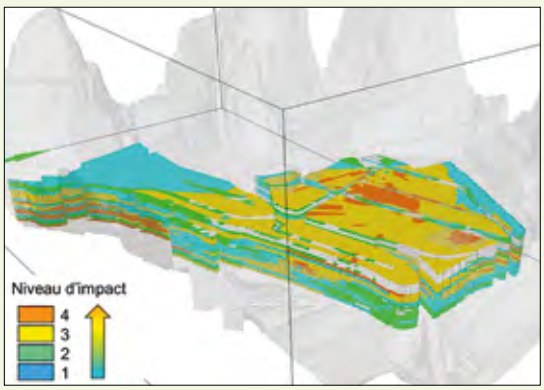
PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

APPUI À LA GESTION DES TERRES EXCAVÉES DU SITE DE MICHEVILLE (LORRAINE)

Dans le cadre de l'Opération d'Intérêt National (OIN) ALZETTE-BELVAL, le BRGM a apporté un appui scientifique et technique à l'Établissement Public Foncier de Lorraine (EPFL) en termes de gestion des terres excavées dans le cadre de ses réflexions et ses travaux concernant le préaménagement du site de Micheville (friche sidérurgique de 400 ha en Lorraine) avant sa cession à l'Établissement Public d'Aménagement (EPA).

L'appui réalisé a consisté à compiler, bancariser et analyser de manière critique les données disponibles, ce qui a permis d'établir que les données n'étaient pas suffisantes pour caractériser finement les matériaux susceptibles d'être excavés. Le BRGM a alors recommandé de regrouper par catégories de qualités supposées similaires les terres à excaver afin de les caractériser plus finement après excavation pour optimiser leur réutilisation. Les données géologiques et environnementales de la base de données ont été mises en relation. Enfin, une évaluation du gisement des terres potentiellement réutilisables a été proposée ainsi que des recommandations méthodologiques en termes d'investigation et de prélèvement de différents milieux (sols, eaux souterraines, gaz du sol).



Cartographie 3D de la qualité chimique des sols du site de Micheville (Lorraine).
© BRGM

GESTION DES SÉDIMENTS EN RÉGION HAUTS-DE-FRANCE ET EN EUROPE NORD-OCCIDENTALE : IMPLICATION DANS L'ACTION RÉGIONALE, LES RÉSEAUX SCIENTIFIQUES ET L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Les travaux et les initiatives menées en région Hauts-de-France autour de la gestion des sédiments ont pour but d'aider les gestionnaires des ports et des canaux à trouver des solutions de gestion des sédiments de dragage techniquement validées, économiquement applicables et neutres pour l'environnement, en s'appuyant sur des recherches scientifiques et des applications concrètes de démonstration. Il s'agit d'établir des filières pérennes de gestion des matériaux de dragage reposant sur leur réutilisation à terre.

L'idée centrale est de considérer les sédiments comme une ressource qui viendrait se substituer à une matière première actuellement utilisée au sein d'une filière économiquement rentable. Cet objectif n'est pas nouveau ; en effet, depuis une vingtaine d'années, de très nombreux travaux ont porté, de près ou de loin, sur l'élaboration de telles filières, comme le projet SEDIMARD en PACA, la démarche Sédimatériaux en Hauts-de-France ou les projets européens GeDSet, CEAMaS ou SETARMS. Des initiatives plus locales sont également mises en œuvre.
Chacun de ces projets apporte sa pierre à un édifice particulièrement difficile à construire en raison de la multiplicité des critères (techniques, économiques, environnementaux, réglementaires et sociétaux) à satisfaire pour élaborer une filière pérenne.

Opération de curage.
© BRGM

GESTION DE CRISE : POLLUTION PAR DES HUILES USAGÉES LORS DES INONDATIONS DE JUIN 2016 À NEMOURS (SEINE-ET-MARNE)

Le 1er juin 2016, une crue historique du Loing, qui s'est installée pendant plusieurs jours, est survenue et a engendré une pollution aux hydrocarbures sur plusieurs hectares de parcelles publiques et privées dans onze villes de Seine-et-Marne (77). La fuite la plus importante a eu lieu sur la commune de Nemours, au niveau de l'avenue de Lyon. Après la décrue, le 9 juin 2016, la zone de défense d'Île-de-France a sollicité l'appui du BRGM pour la gestion de cette crise sanitaire et environnementale exceptionnelle.

Dans le but d'aider les services de l'État à identifier l'origine de cette pollution, le BRGM s'est rendu sur place, et a pu émettre les premières recommandations adaptées à cette pollution environnementale de grande ampleur. Des mesures d'urgence au niveau des zones sources et des habitations ont été proposées ainsi que des actions à réaliser dans un second temps.

Au total, 168 zones impactées (relevant du domaine public ou privé) ont été recensées sur les onze villes concernées. À la demande de l'État, le BRGM poursuit son intervention auprès de la Mairie de Nemours en tant qu'Assistant à Maîtrise d'Ouvrage (AMO) pour la dépollution des zones publiques et orphelines impactées par ces huiles usagées.

Terrain affecté par des huiles usagées (Nemours).
© BRGM

PROJETS REMARQUABLES

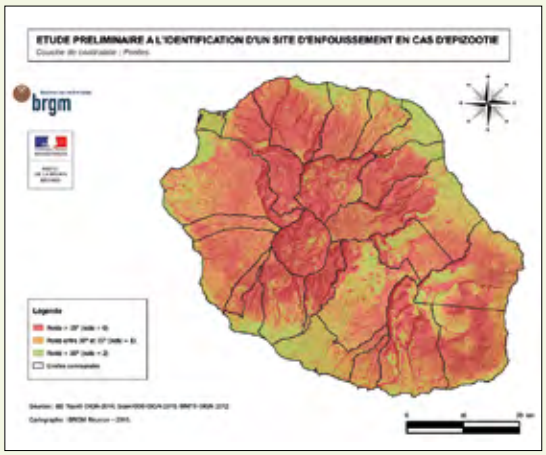
Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

IDENTIFICATION DES ZONES D'EXCLUSION À L'ENFOUISSEMENT DE CADAVRES D'ANIMAUX EN CAS D'ÉPIZOOTIE À LA RÉUNION

Dans le cadre de l'amélioration du dispositif ORSEC en cas d'épizooties majeures sur le département de La Réunion (974), la DEAL et le BRGM ont mené un projet de cartographie des zones d'exclusion pour l'implantation de sites d'enfouissement de cadavres d'animaux.

L'objectif final est de fournir aux services de l'État un outil cartographique d'aide à la décision permettant de délimiter les zones favorables, peu favorables et défavorables et d'identifier, de manière factuelle et homogène, sur l'ensemble du département, les zones de contraintes potentiellement défavorables pour une implantation de sites d'enfouissement de cadavres d'animaux.

Les critères retenus sont répartis en quatre domaines de contraintes : géologiques et géotechniques, hydrologiques et hydrogéologiques, environnementales et anthropiques.



Résultat d'analyse multicritère pour les "contraintes géologiques et géotechniques : carte des pentes".
© BRGM

CARACTÉRISATION DE L'IMPACT DE LA PRESSION "ORPAILLAGE" SUR LES MASSES D'EAU DE SURFACE DE GUYANE

Entre la fin du XIX^{ème} siècle et 2006, date à laquelle l'utilisation de mercure (Hg) pour l'amalgamation de l'or a été interdit, on estime que ce sont au moins 300 tonnes de mercure qui ont été disséminées dans l'environnement guyanais. Ce mercure est considéré comme relativement stable dans les sols où il n'y a pas d'érosion permettant sa remobilisation. Or, du fait des techniques modestes d'exploitation utilisées dans le passé, de nombreux placers contiennent encore aujourd'hui des quantités d'or suffisamment élevées pour envisager une ré-exploitation, ce qui conduirait potentiellement à une remobilisation du mercure présent dans les sols.

Le BRGM a été sollicité pour déterminer l'impact potentiel de la ré-exploitation d'anciens placers miniers sur la quantité de matière en suspension (MES) et la quantité de mercure associé qui sont transportées vers les cours d'eau. L'étude s'est focalisée sur un petit bassin versant de la commune de Roura. Elle a permis de mesurer d'une part, les teneurs en mercure dans l'eau, les matières en suspension et la "crème de vase" ainsi que la teneur en méthylmercure dissous dans l'eau et d'autre part, les teneurs en mercure dans d'anciennes lagunes du permis minier. Suite à l'analyse de ces mesures, une interprétation des flux de mercure a été proposée.

Confluence d'une crique non orpaillée (à gauche sur la photo) aux eaux claires et d'une crique objet de travaux en cours aux eaux ocres et troubles.
© M. Moisan

ÉVALUATION DES PRESSIONS-IMPACTS À L'ORIGINE DES TENEURS EN NITRATE AGRICOLE OU URBAIN DANS LES EAUX SOUTERRAINES À LA RÉUNION

Le risque de diminution de la qualité des eaux souterraines constitue un enjeu sanitaire et environnemental majeur face à l'augmentation des populations et des activités anthropiques. Les nitrates sont régulièrement cités comme un des contaminants les plus répandus dans les eaux souterraines, cela en raison de leur forte solubilité et mobilité. Sur l'île de La Réunion, les pressions polluantes à l'origine des nitrates peuvent être agricoles ou urbaines en raison de la présence significative d'assainissement non-collectif ainsi que de stations de traitement des eaux usées (STEU). Ce projet vise à déterminer l'origine agricole ou urbaine des nitrates dans les eaux souterraines.

Cette étude repose d'une part, sur une analyse spatiale et temporelle des sources potentielles de nitrates à l'échelle de deux bassins versants contrastés et d'autre part, sur l'analyse chimique et isotopique de prélèvements d'eaux souterraines. Le croisement de ces analyses et de l'occupation des sols montre que les eaux souterraines sont influencées par le rejet de la STEU ou de l'assainissement non collectif sur le secteur de la Saline. À l'inverse, la composante hydrochimique de la pression agricole se manifeste plus sensiblement sur le secteur de Dos d'Âne.

Cette étude de caractérisation de l'origine des nitrates dans les eaux souterraines permet aux décisionnaires de bénéficier des arguments scientifiques nécessaires pour orienter leurs choix en termes d'aménagement du territoire et d'investissements à engager pour diminuer les intrants polluants à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux souterraines.

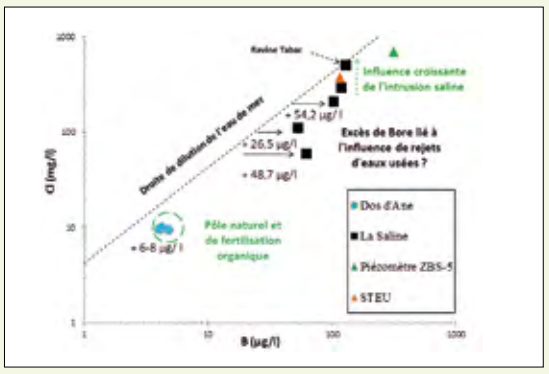
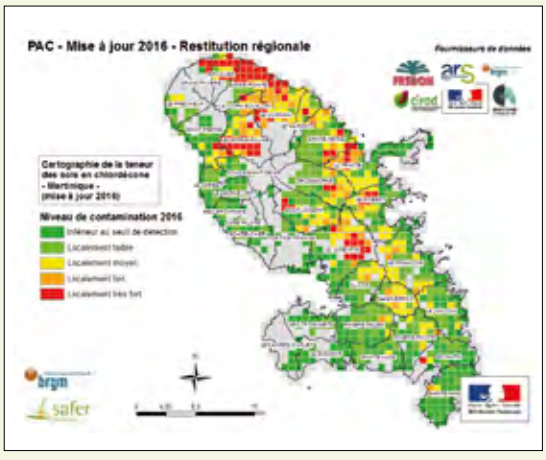


Diagramme binaire "chlorures-bore" des eaux prélevées mettant en évidence des enrichissements en bore par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer.

CONTAMINATION DES SOLS DE MARTINIQUE PAR LA CHLORDÉCONE : SUIVI ET MISE À JOUR 2016 DU SYSTÈME D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

La chlordécone a été utilisée, de 1972 à 1993, en Martinique et en Guadeloupe pour lutter contre le charançon du bananier. Cette molécule, interdite d'utilisation depuis 1993 et particulièrement persistante, pollue aujourd'hui encore les sols, les rivières, les nappes d'eaux souterraines ainsi que les écosystèmes associés.

Pour valoriser les nombreuses analyses de sols et de végétaux réalisées dans le cadre de différentes études, la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DAAF) de la Martinique a lancé, en 2009, un projet permettant une représentation cartographique de la pollution des sols par la chlordécone, à une échelle régionale basée sur une maille kilométrique. Ce projet s'inscrit plus particulièrement dans le cadre de l'Action 1 du Plan National d'Action Chlordécone (PNAC). Son Comité de pilotage regroupe les principaux organismes publics directement concernés par cette problématique (DAAF, Agence Régionale de Santé et Chambre d'Agriculture 972) mais aussi d'autres organismes publics tels que la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL), le Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) et le BRGM. Le Système d'Information Géographique (SIG) constituant le résultat principal de ce projet de cartographie, mis à jour en 2012, 2014, 2015 et 2016, intègre désormais les données acquises entre 2003 et 2016.



Représentation régionale du niveau de contamination des sols par la chlordécone (mise à jour 2016).

ÉCONOMIE

Grande carrière de granulats à l'entrée sud de Givet (Ardennes, 2007).
© BRGM

Dans différents domaines d'intervention comme la gestion de l'eau et des géoressources (matières premières, énergie), les sols contaminés, les éco-procédés industriels et les risques naturels ou anthropiques, le BRGM est sollicité pour intégrer à son expertise technique et scientifique, une capacité d'évaluation économique. Cette demande s'exprime à différentes échelles : régionale (collectivités territoriales opératrices ou planificatrices), nationale (en lien avec la mise en œuvre de directives-cadres européennes) et internationale (avec des institutions impliquées dans la définition d'appels d'offres pour de grands projets).

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes : "Économie des milieux et des risques" et "Économie des matières premières minérales primaires et secondaires".

116
ÉCONOMIE DES MILIEUX ET DES RISQUES

117
ÉCONOMIE DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES PRIMAIRES ET SECONDAIRES

122
PROJETS REMARQUABLES

ÉCONOMIE DES MILIEUX ET DES RISQUES

Ce programme vise à répondre à une demande croissante d'intégration des savoir-faire issus des géosciences et des sciences économiques pour traiter des problématiques de gestion des ressources en eau, des sols, des milieux naturels et des risques liés au sous-sol. Bien que le programme reste principalement centré sur les problématiques de gestion des ressources en eau, l'année 2016 a permis d'approfondir des problématiques économiques liées à la gestion des risques naturels et des problèmes environnementaux en milieu industriel.

GESTION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE

Dans le domaine de la gestion quantitative des ressources en eau souterraine, le BRGM a poursuivi en 2016 ses travaux sur le cadre institutionnel et les instruments économiques de gestion. En partenariat avec l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, un séminaire franco-australien a été organisé sur ce thème à Montpellier, permettant à une trentaine de gestionnaires et décideurs publics des deux pays de partager leur expérience opérationnelle. Les méthodes de prospective participative, développées et testées en France, ont en outre été déployées avec succès dans un bassin du Nord du Chili. Dans le domaine de la modélisation hydro-économique, une application opérationnelle des outils développés dans la Beauce et dans l'Hérault les années précédentes est en cours d'élaboration, en appui à l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, dans le but d'optimiser la gestion quantitative à long terme dans la Moselle.

En parallèle, une équipe de modélisateurs travaille au couplage des outils d'optimisation économique avec le modèle hydrogéologique Marthe et recherche de nouveaux terrains d'application. Deux projets financés par l'ONEMA (aujourd'hui AFB) ont également comme objectif de développer des approches innovantes pour aider les gestionnaires à prendre en compte les incertitudes lors de l'élaboration des plans de gestion. Enfin, dans le domaine de la protection des ressources, les travaux relatifs à l'évaluation économique des bénéfices (incluant les services écosystémiques) associés à la mise en place de zones de sauvegarde pour le futur se poursuivent sur différents terrains du bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

RESTAURATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU ET DES SOLS EN MILIEU INDUSTRIEL

Les outils d'analyse économique ont été appliqués à de nouvelles problématiques en milieu industriel. Une étude pluridisciplinaire, associant l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, les services de l'État et les industriels, a évalué le coût du programme de mesures qui devrait être mis en œuvre pour restaurer le bon état des eaux souterraines des vallées du Drac et de la Romanche, dans l'agglomération grenobloise. La comparaison de ce coût avec les bénéfices attendus et la capacité à payer des acteurs concernés a permis de justifier une dérogation au titre de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE). Des travaux ont également été amorcés dans le domaine de la gestion des friches industrielles, en collaboration avec l'ADEME et la métropole du Grand Lyon. Un outil d'évaluation économique est ainsi en cours d'élaboration afin d'optimiser un programme de redéveloppement des friches de la vallée de la chimie, intégrant notamment des projets à finalités environnementale et énergétique pour mettre en valeur les friches les plus contraintes (contamination, risques industriels).

GESTION DES RISQUES ET DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le troisième axe du programme porte sur les problématiques économiques liées à la gestion des risques naturels et à l'impact du changement climatique. En Martinique, le BRGM a terminé en 2016 une étude visant à évaluer la résilience économique des entreprises face au risque d'interruption des réseaux (eau, électricité) dans un contexte multirisques (cyclone, mouvement de terrain, séisme, inondation). La méthode développée pourra être appliquée à plus grande échelle pour orienter l'action publique vers des cibles prioritaires (entreprises très vulnérables ou segments de réseaux stratégiques). En Guadeloupe, une étude en cours, menée en appui à l'ADEME, vise à évaluer le coût de l'inaction face aux risques côtiers liés à la submersion marine et au recul du trait de côte dans un contexte de changement climatique. Dans le domaine de l'eau, le BRGM participe également à la réflexion de l'Agence de l'eau Adour-Garonne sur l'évaluation économique de scénarios d'adaptation au changement climatique.

VALORISATIONS RÉALISÉES

Ouvrage de synthèse sur le thème "Quels instruments pour une gestion collective des prélèvements individuels en eau pour l'irrigation" accessible à : www.onema.fr/sites/default/files/pdf/Prelevement-en-eau.pdf.

Ouvrage scientifique collectif offrant un panorama international des enjeux et méthodes de gestion intégrée des eaux souterraines: "Integrated groundwater management: concepts, approaches and challenges" édité par Springer (2016, 762 pages), gratuitement accessible à : http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-23576-9

Hélène Rey-Valette, Bénédicte Rulleau, Yann Balouin et Cécile Herivaux (2016).
"Enjeux, valeurs des plages et adaptation des territoires littoraux à la submersion marine", *Économie rurale, 351 : 49-65*

Graveline N (2016).
Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: *A review. Environmental Modeling and Software, vol. 81.*

Girard, C, JD Rinaudo, M. Pulido-Velazquez (2016).
Sharing the cost of river basin adaptation portfolios to climate change: insights from social justice and cooperative game theory. *Water Resources Research.*

Rinaudo JD, Calatrava J, Vernier de Byans M (2016).
Tradable Water Saving Certificates to Improve Urban Water Use Efficiency: an ex-ante evaluation in a French case study. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics. Volume 60, Issue 3, pages 422–441.*

ÉCONOMIE DES MATIÈRES PREMIÈRES MINÉRALES PRIMAIRES ET SECONDAIRES

Les mutations technologiques de la société et l'émergence de nouveaux pôles de croissance à l'échelle globale ont placé la problématique de l'approvisionnement en matières premières minérales au cœur des priorités stratégiques de nos industries. Cette problématique est désormais définie dans un concept d'économie circulaire, qui offre une part croissante aux ressources issues du recyclage.

Le programme "Économie des matières premières minérales primaires et secondaires" a pour vocation d'augmenter et d'exploiter les synergies pouvant exister entre un ensemble d'actions de recherche ou d'appui aux politiques publiques qui sont conduites sur ce thème au niveau national ou européen. Dans le détail, il regroupe des actions de veille économique, de production et de traitement de statistiques minérales et économiques, et des développements méthodologiques pour l'amélioration des modèles économiques et environnementaux sur le cycle de vie des matières premières minérales. Ce programme intègre aussi des travaux sur l'évolution du marché des terres rares et d'autres métaux/minéraux de criticité élevée, ainsi que des analyses de risques relatives aux caractéristiques géopolitiques des sources d'approvisionnement.

Dans un contexte de tension très variable sur les matières premières minérales, la France, comme l'Europe, doit être en capacité de promouvoir des actions fortes afin d'assurer aux industriels une meilleure visibilité sur la sécurité de leur approvisionnement en matières premières qui sont essentielles à leur production et représentent des facteurs dominants de leur compétitivité. Pour répondre à cette stratégie nationale, le BRGM maintient sa mission d'intelligence économique sur les ressources minérales (c'est-à-dire de l'intelligence minérale) au niveau mondial. L'intelligence minérale inclut une veille active permanente sur les différentes filières de production industrielle à forte composante minérale, du gisement mis en exploitation jusqu'aux produits en fin de vie qui sont repris dans les unités de recyclage. La dynamique est portée par des concepts d'évolution continue des marchés : cycle économique des matières premières, cycle de vie, économie circulaire, etc. mais avec toutefois de nombreux mécanismes de ruptures théoriques ou méthodologiques, attendus ou imprévus, qui peuvent intervenir à tout moment et imposer une mise à jour rapide de l'équation complexe reliant l'offre et la demande.

Ainsi, conformément à l'objectif du BRGM consistant à s'adapter aux défis scientifiques et sociétaux exprimés aux niveaux national et international pour affirmer l'originalité de ses approches, ce programme se focalise sur l'enjeu de valorisation et diffusion des données. Cela se traduit en particulier par la construction et la diffusion des chroniques temporelles et spatiales du marché des matières premières minérales sous une forme permettant de répondre aux questionnements posés par les acteurs concernés.

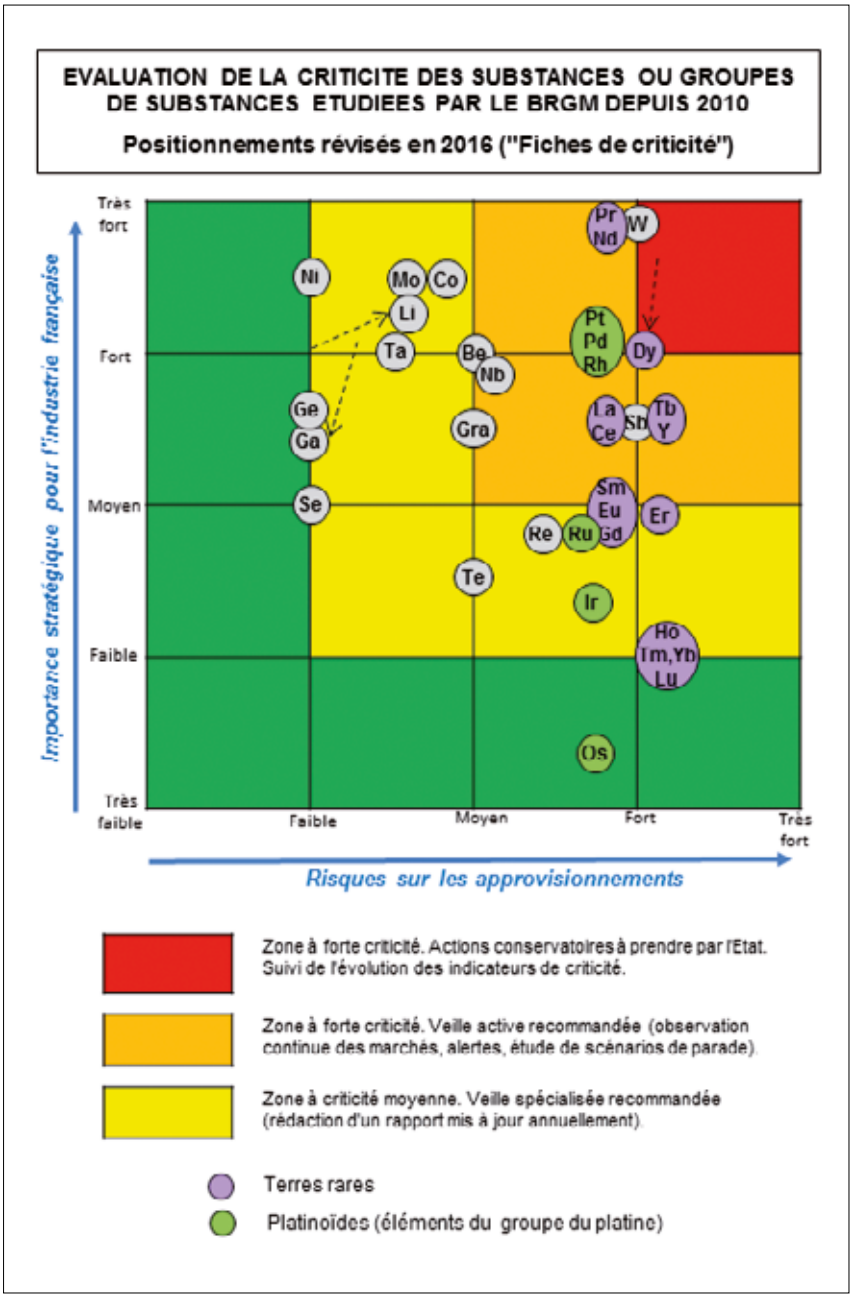


Fig. 52 - Évaluation de la criticité des substances ou groupes de substances étudiés par le BRGM depuis 2010, positionnements révisés en 2016.
© BRGM

INTELLIGENCE ÉCONOMIQUE – FICHES DE CRITICITÉ PAR SUBSTANCE

Le BRGM maintient une activité annuelle d'intelligence économique sur les matières premières minérales.

Cette activité s'appuie sur un ensemble d'abonnements (périodiques et bases de données spécialisées type SNL) et au-delà, sur la recherche et la consultation d'un large éventail de sources accessibles (sites des sociétés, sites institutionnels et divers). Elle prend ainsi en charge la collecte, le stockage, l'organisation et le traitement d'informations et de données, en particulier sur les métaux et minéraux critiques. Elle inclut également la participation d'experts du BRGM à des réunions spécifiques (notamment, le Groupe de Travail 1 du COMES).

Le Ministère chargé de l'Environnement et le BRGM ont poursuivi en 2016 la réalisation et la mise en ligne d'une série de fiches de criticité par substance ***(Fig.52)*** :

• les fiches de criticité Dysprosium (Dy), Gallium (Ga), Béryllium (Be), Niobium (Nb), Molybdène (Mo), Rhénium (Re), Nickel (Ni) et Graphite naturel ont été achevées et mises en ligne sur Minéralinfo (www.mineralinfo.fr) en 2016 ;

• les fiches de criticité Etain (Sn) et Chrome (Cr) seront mises en ligne début 2017.

ANNUAIRE STATISTIQUE MONDIAL DES MINERAIS ET MÉTAUX (AS3M)

Cette action vise à réaliser l'annuaire statistique mondial des minerais et métaux (AS3M), qui collecte, par pays, les données de production mondiale. En 2016, les données 2015 ont été présentées et les données des années 2011 à 2014 révisées, pour les métaux de base, métaux précieux, etc. Les données sont hébergées dans la Base de données Économiques Mondiales sur les Minerais et Métaux (BE3M, ***Fig.53***) accessible à partir du portail Mineralinfo (http://www.mineralinfo.fr/page/be3m).

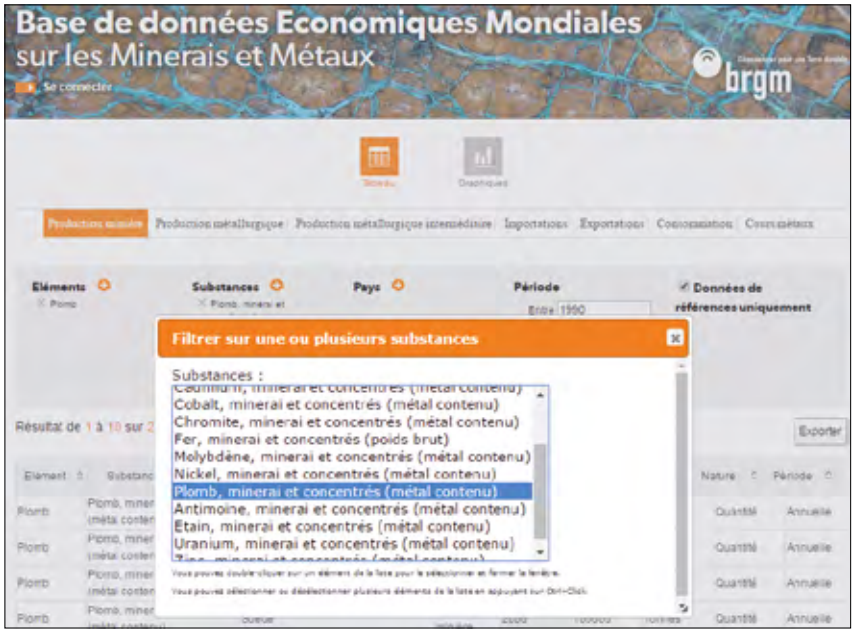


Fig. 53 - Base de Données Économiques Mondiales sur les Minerais et Métaux (BE3M), exemple de données accessibles en ligne, portail Mineralinfo (http://www.mineralinfo.fr/page/be3m)

Fig. 54 - Évolution comparée du prix du cuivre et du pétrole du 01/01/2003 au 01/01/2017.
© LME et EIA

En 2016, l'action a comporté les tâches suivantes :

• Acquisition de données, tâche principale du projet, réalisée à partir d'un travail de veille économique et d'une collaboration avec les membres d'un groupe international de statisticiens "International Consultative Group On Non Ferrous Metals Statistics" ou ICG ;

• Participation à la réunion annuelle de l'ICG à Vienne, en Autriche, en septembre 2016. Les participants ont échangé et discuté de leurs données de production pour une sélection de métaux. La réalisation de l'annuaire français s'appuie fortement sur ce réseau qui regroupe des représentants de certains bureaux géologiques européens et nord-américains - dont le BGS et l'USGS, du World Bureau of Mineral Statistics (WBMS), ainsi que des représentants invités des groupes d'études spécialisés (International Copper Study Group, International Lead and Zinc Study Group, International Nickel Study Group, et l'International Wrought Copper Council) ;

• Participation aux réunions des groupes d'études Cu, Ni, Pb et Zn, en avril et en octobre 2016, à Lisbonne, en accompagnement du Bureau des Ressources Minérales (BRM) du Ministère chargé de l'Environnement, auxquelles participaient des représentants de pays membres, des industriels, des associations professionnelles, etc. ;

• Proposition d'amélioration de l'ergonomie de la BE3M. Elle consiste en une utilisation plus "intuitive" avec des onglets au niveau de la page de recherche des données statistiques, pour répondre à une demande de certains utilisateurs ;

• Proposition, en novembre 2016, d'un modèle de fichier présentant les données statistiques de production, par substance et sur 5 ans, à publier sur Mineralinfo ***(Fig.54)*** ;

• Encadrement de travaux de recherche (Master 2) sur le marché mondial du graphite naturel et synthétique pendant

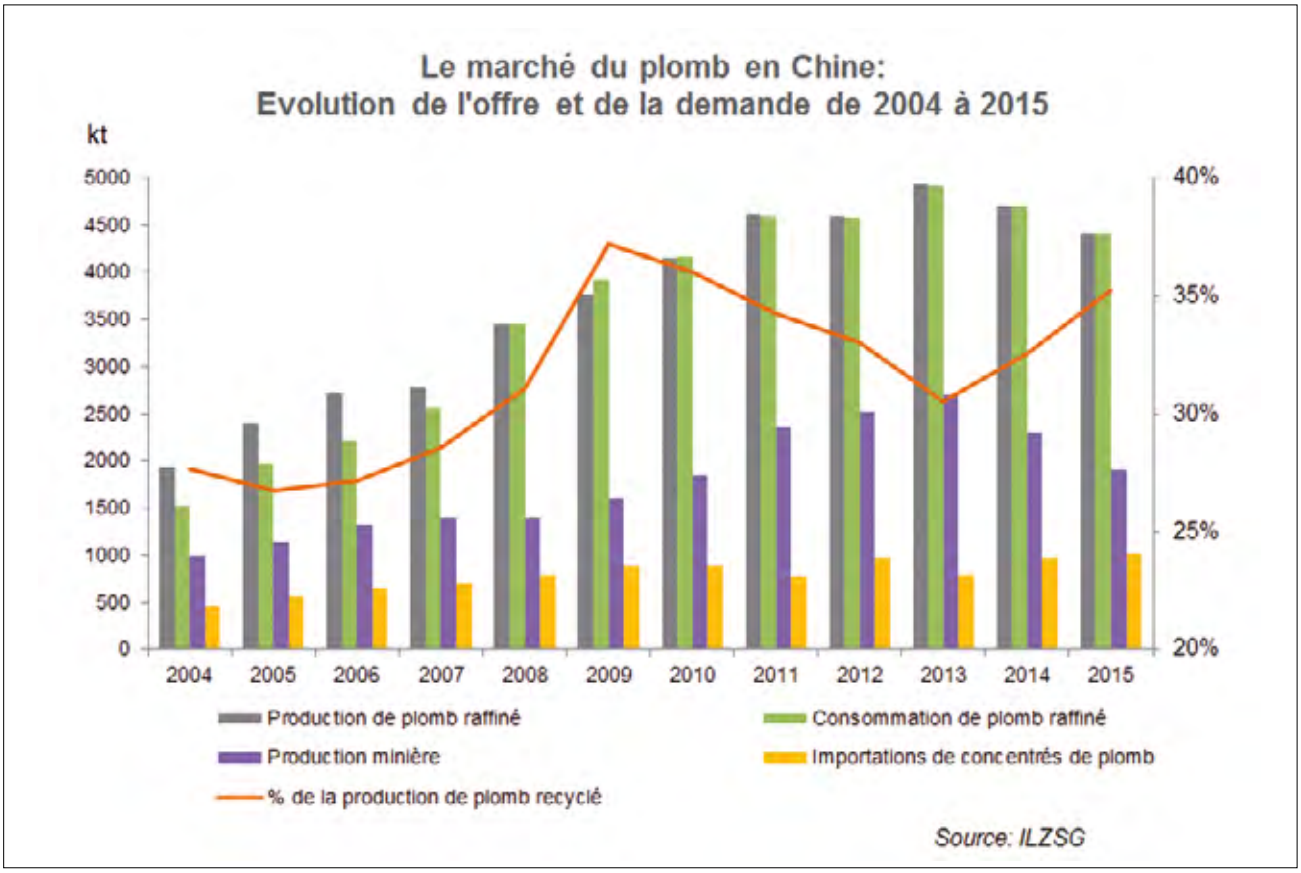


***Fig. 55** - Exemple d'étude produite dans le cadre de l'action Ecomine portant sur l'évolution de l'offre et de la demande en Chine pour le marché du plomb, de 2004 à 2015.*
© BRGM

une période de quatre mois et demi. L'étude, communiquée au BRM en décembre 2016, comporte un volet sur les échanges de substances graphiteuses de l'Union européenne et de la France avec le reste du monde. Un dossier a été rédigé et publié sur Mineralinfo (ECOMINE) en janvier 2017.

ECOMINE

L'objectif de cette action est de publier des dossiers et articles sur l'actualité de l'industrie minérale mondiale (métaux, minéraux industriels et de construction) sur le portail "Minéralinfo", le portail français des ressources minérales non énergétiques ***(Fig.55)***.

Les dossiers ECOMINE sont des revues et articles de fond, riches en données, qui dressent de manière détaillée un état des lieux du marché d'une substance ou de l'impact de régulations sur les marchés, etc. tout en en décrivant le contexte ***(Fig.56 et 57)***.

En 2016, sept dossiers ont été réalisés. Parmi les sujets traités, une revue du marché du graphite a été publiée en janvier 2017 : "Le graphite naturel et synthétique : une offre excédentaire que la demande atone des aciéristes et la progression lente du secteur des véhicules électriques et hybrides ne suffisent pas à réduire".

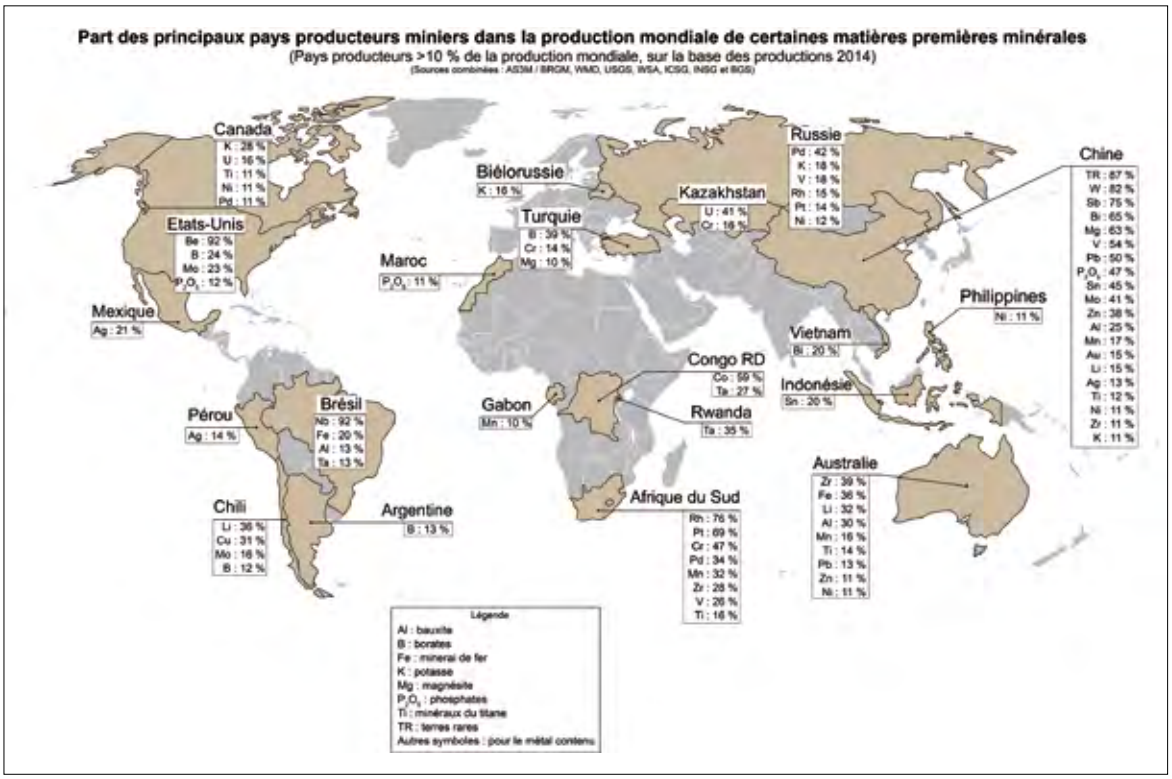


***Fig. 56** - Carte des principaux pays producteurs miniers dans la production mondiale de certaines matières premières minérales (sources combinées BRGM, WMD, USGS, WSA, ICGS, BGS).*

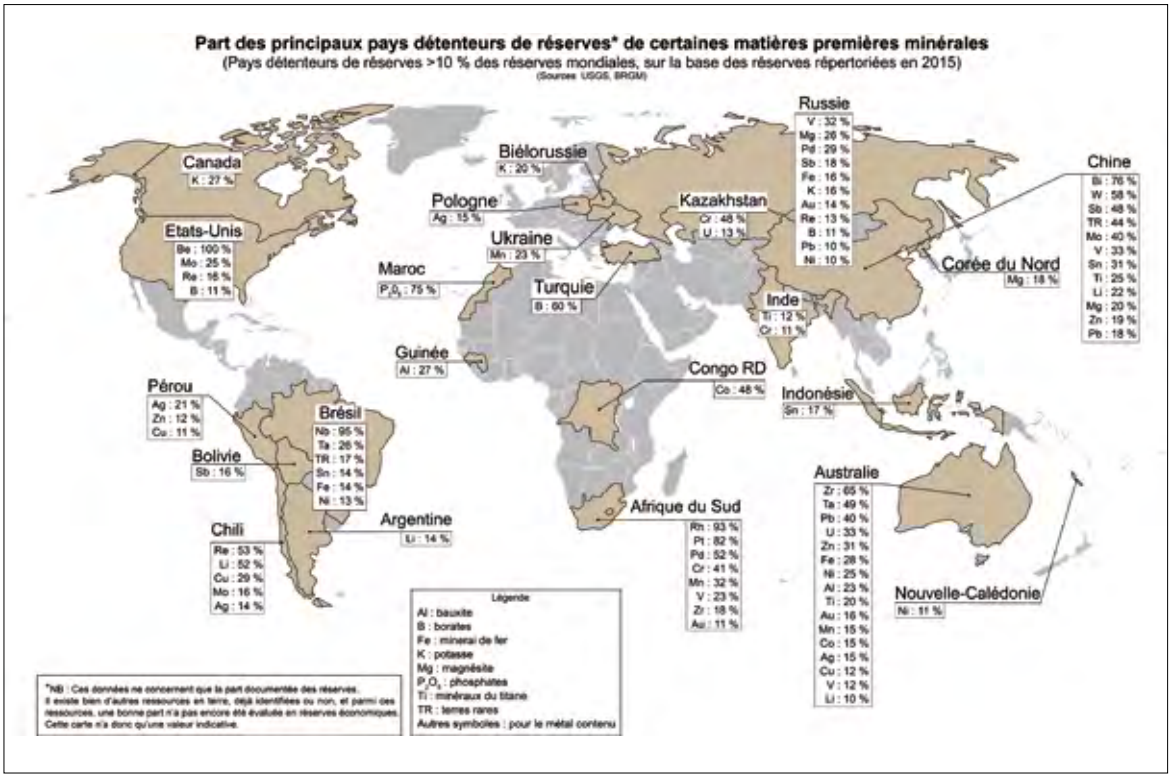


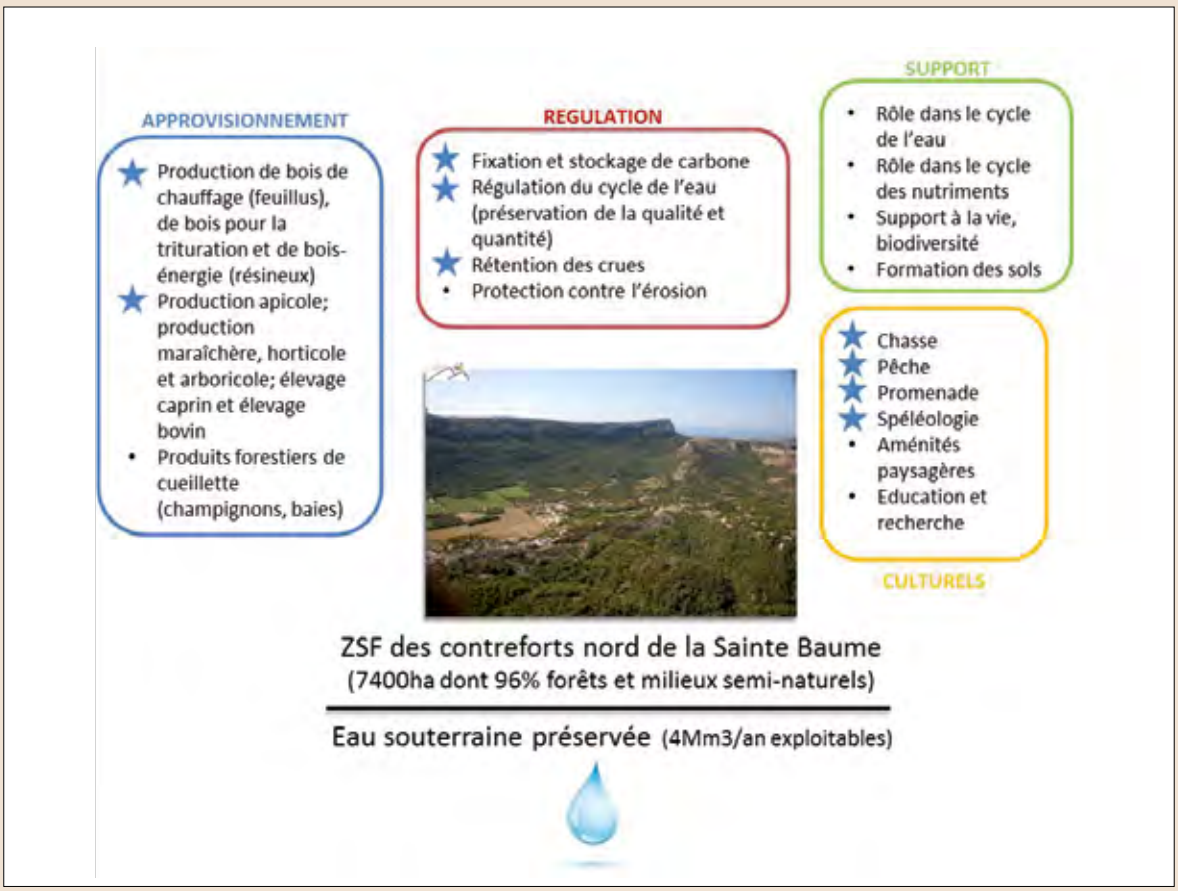
***Fig. 57** - Carte des principaux pays détenteurs de réserves de certaines matières premières minérales (sources combinées BRGM, USGS).*

PROJETS REMARQUABLES

ÉVALUER LES BÉNÉFICES ASSOCIÉS À LA PRÉSERVATION DES ZONES DE SAUVEGARDE POUR L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE FUTURE : L'APPORT DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES

Les méthodes classiquement utilisées en économie de l'environnement pour évaluer les bénéfices de la préservation des eaux souterraines peuvent s'avérer peu adaptées pour justifier les coûts des actions de préservation sur le long-terme, notamment lorsque les ressources ne sont pas utilisées actuellement. Basée sur le concept de services écosystémiques, la démarche d'évaluation développée par le partenariat de recherche CARAC'O ne s'intéresse pas uniquement aux services délivrés par la ressource en eau souterraine elle-même, mais considère comme des bénéfices l'ensemble des services délivrés par les écosystèmes présents sur la zone à préserver, tout en restant compatibles avec le maintien en bon état de la ressource en eau souterraine.

Ce type d'argumentaire est particulièrement adapté aux zones de sauvegarde pour le futur recelant des ressources en eau de bonne qualité dont l'usage pour l'alimentation en eau potable est faible ou inexistant et dont la préservation consiste à maintenir en l'état une occupation du sol ou des activités qui soient compatibles avec le bon état des eaux souterraines.



Services écosystémiques délivrés par la zone de sauvegarde pour le futur (ZSF) des contreforts nord de la Sainte-Baume (avec une étoile : services ayant fait l'objet d'une évaluation économique).
© BRGM

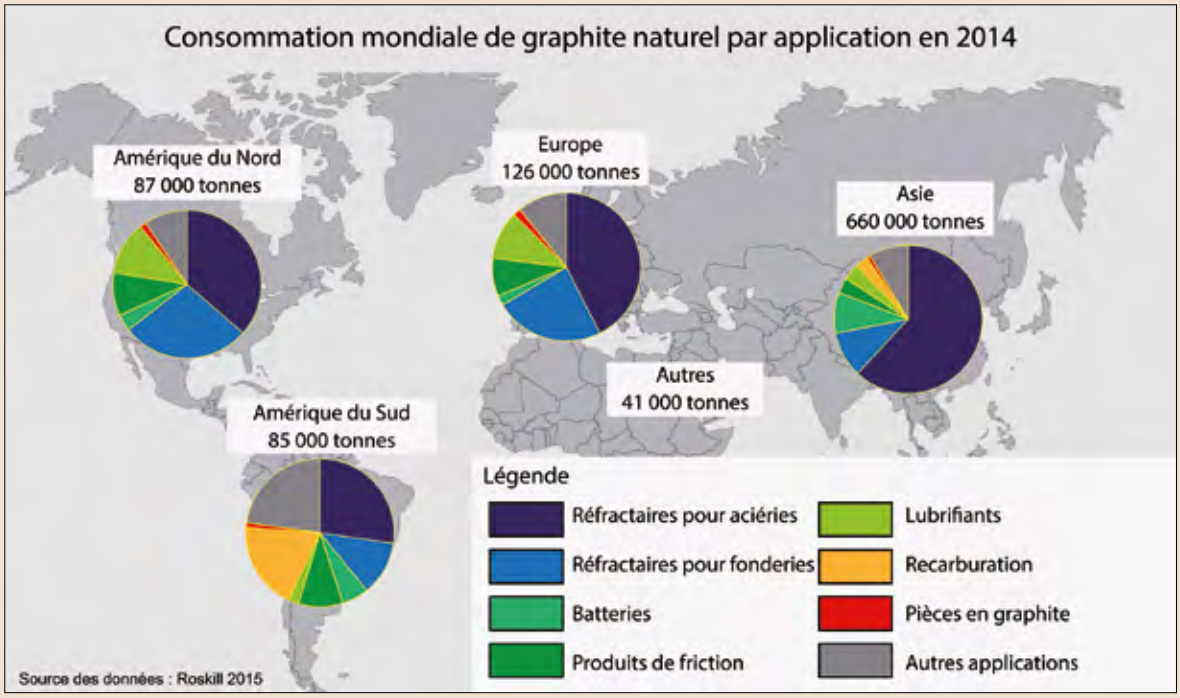
Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

LE MARCHÉ EUROPÉEN DU GRAPHITE, UN SECTEUR NOVATEUR QUI RESTE FORTEMENT DÉPENDANT DE L'ASIE POUR SON APPROVISIONNEMENT

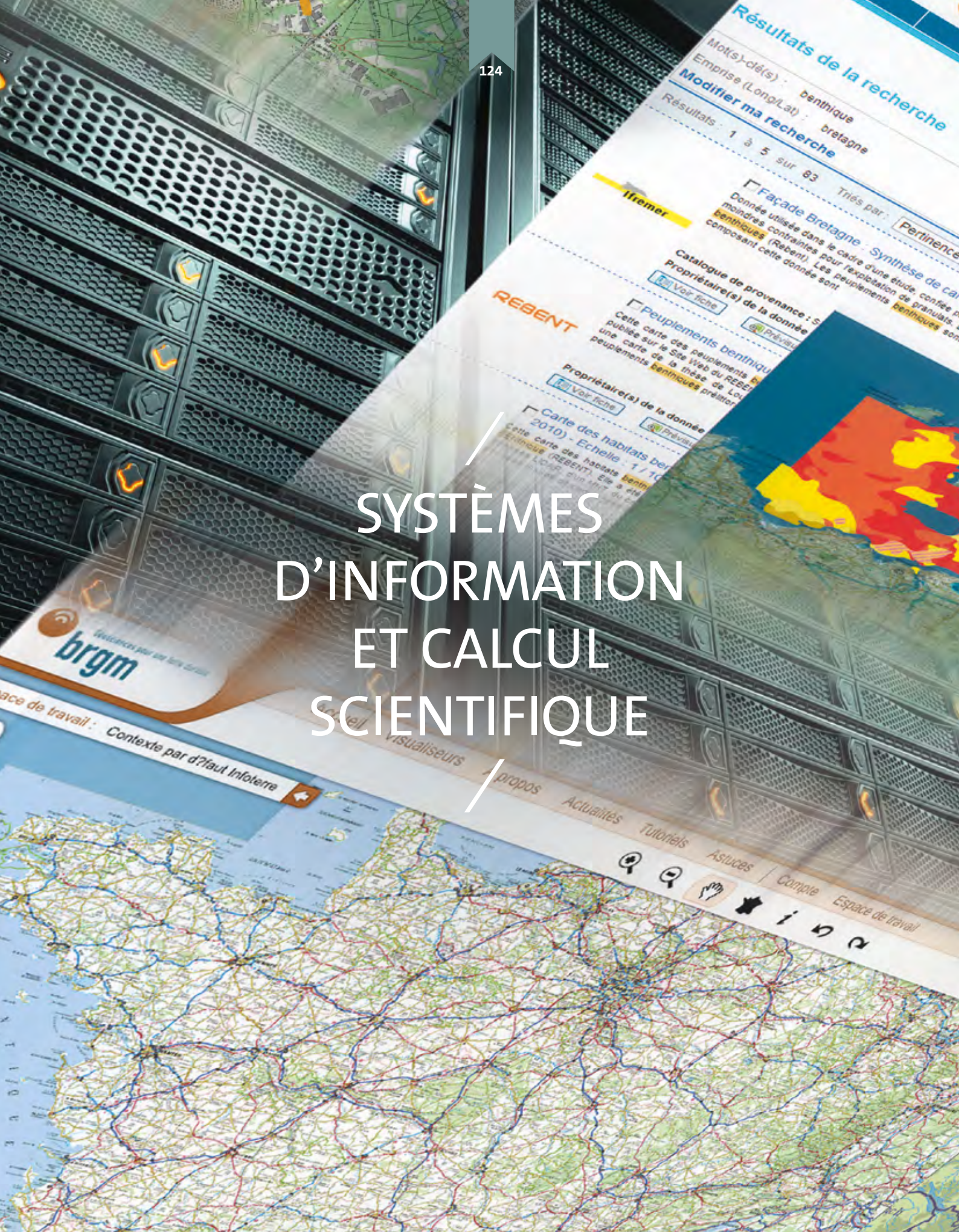
Le graphite est utilisé dans les secteurs majeurs de l'économie mondiale tels que la sidérurgie, l'automobile et l'énergie.

Le BRGM a réalisé en 2016 une étude du marché mondial et européen du graphite naturel et synthétique. Dans l'Union européenne, la sidérurgie et les activités de fonderie consomment les deux tiers (environ 85 000 tonnes) du graphite naturel mis sur le marché. Les deux types de graphite sont en concurrence dans de nombreux usages industriels traditionnels (lubrifiants, produits de friction, applications électriques).

Les acteurs européens ont misé sur la production de produits innovants et/ou à haute performance - donc à forte valeur ajoutée - tels que les matériaux de construction ignifuges à base de graphite expansible. L'Europe est cependant absente sur le marché du graphite destiné aux batteries Li-ion. Le graphite sphérique, utilisé comme matériau d'anode, est actuellement exclusivement produit en Asie.



Consommation mondiale de graphite naturel par application en 2014.
© BRGM – Leguérinel (2016)



SYSTÈMES D'INFORMATION ET CALCUL SCIENTIFIQUE

Diffusion et partage de l'information géoscientifique par le BRGM. © BRGM

Le BRGM maîtrise l'ensemble de la chaine de traitement numérique dédiée aux systèmes d'information et au calcul scientifique relevant de ses activités. La révolution des technologies du numérique ouvre de nouvelles opportunités pour mieux répondre aux besoins des usagers de l'information géo-scientifique et environnementale. Le BRGM propose un cadre cohérent de capitalisation et de valorisation des données sur les grands systèmes d'information, en accord avec la directive INSPIRE[13] et la loi pour une république numérique[14].

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes sur le numérique : "Calcul scientifique, outils logiciels et visualisation 3D", "Capitalisation et diffusion de l'information - Produits et services associés" et "Urbanisation et gestion de l'information géo-scientifique".

126
CALCUL SCIENTIFIQUE, OUTILS LOGICIELS ET VISUALISATION 3D

128
CAPITALISATION ET DIFFUSION DE L'INFORMATION - PRODUITS ET SERVICES ASSOCIÉS

133
URBANISATION ET GESTION DE L'INFORMATION GÉOSCIENTIFIQUE

136
PROJETS REMARQUABLES

[13] INSPIRE : Infrastructure for Spatial Information in the European Community : Directive 2007/2/CE du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne.

[14] Loi n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique.

Le BRGM a développé un savoir-faire en matière de conception et de mise en œuvre de systèmes d'information pour répondre aux besoins des utilisateurs dans les domaines géo-scientifiques et environnementaux. Précurseur dans la mise en œuvre des exigences de la directive européenne INSPIRE, il a acquis une position de référent en matière de gestion de données environnementales et d'interopérabilité facilitant les échanges entre les systèmes d'information. Ses compétences placent l'établissement en position centrale en matière d'acquisition, de gestion (bancarisation) et de diffusion des connaissances sur le sous-sol, et plus généralement sur les données environnementales. Cette expertise s'étend à la valorisation de son patrimoine numérique par le développement de nouveaux services de calcul et de traitement.

La diffusion ouverte de l'information scientifique numérique est l'un des axes les plus visibles offerts aux utilisateurs. Parmi la centaine de sites Internet placés sous la responsabilité de l'établissement, les sites suivants constituent une vitrine des missions du BRGM :

• le portail InfoTerre (http://infoterre.brgm.fr) ouvre l'accès à la consultation et au téléchargement des données géologiques du BRGM (forages, cartes géologiques, données d'observation...) ;

• le site Mineralinfo (http://www.mineralinfo.fr) présente l'information sur les ressources minérales ;

• les sites ADES (http://ades.eaufrance.fr) et les Systèmes d'information pour la gestion des Eaux souterraines (SIGES) sont les principaux points d'accès aux données sur la connaissance hydrogéologique en France. Le site public sur les données des prélèvements en eaux – BNPE (http://bnpe.eaufrance.fr) ou le site de diffusion de la qualité des eaux de surface (NAIADES – http://naiades.eaufrance.fr) illustrent l'accompagnement des partenaires publics à la réalisation de systèmes d'information ambitieux ;

• le portail Géorisques (http://georisques.gouv.fr) fournit l'information spatialisée sur tous les risques naturels et technologiques en France, avec un choix d'accès tout public : du citoyen aux professionnels du métier ;

• le site Géothermie-perspectives (http://www.geothermie-perspectives.fr/) met à disposition tout ce qu'il faut savoir sur la géothermie en France, tant pour les particuliers que pour les professionnels ;

• les portails Géocatalogue (www.geocatalogue.fr) et Tout sur l'environnement (www.toutsurlenvironnement.fr), sites web à vocation plus large, sont des plateformes publiques de partage de données sur l'information environnementale sur le territoire.

CALCUL SCIENTIFIQUE, OUTILS LOGICIELS ET VISUALISATION 3D

Les missions stratégiques du BRGM, en matière de connaissance des milieux géologiques, d'usage durable du sous-sol ou de prévention des risques s'appuient sur l'analyse d'informations volumineuses et hétérogènes (observations, capteurs / satellites, systèmes d'informations environnementaux, etc.) et sur la compréhension des mécanismes physiques sous-jacents (risques naturels et anthropiques, stockage d'énergie, gestion des géoressources...).

La mise en œuvre des méthodes numériques, des algorithmes, des architectures logicielles et matérielles dédiées à l'analyse de données massives (Big Data) et au passage à l'échelle des modélisations tridimensionnelles est au cœur des enjeux scientifiques de ce programme.

PLATEFORMES DE CALCUL

Le BRGM exploite un supercalculateur dédié à la simulation numérique à grande échelle et au traitement massif des données. Ce dernier se compose de 34 nœuds de calcul reliés par un réseau de communication haute performance et totalise 800 cœurs de calcul et 20 To de stockage partagé.

De manière complémentaire, huit serveurs de traitement spécifiques sont disponibles afin de répondre aux besoins thématiques (traitements SIG lourds, logiciels commerciaux, modélisation hydrodynamique, etc.).

En 2016, différents projets dédiés à l'appui aux politiques publiques ont pu bénéficier de cette puissance de traitement. Ils traitaient notamment de problématiques d'évaluation des risques côtiers, de l'inversion de données géophysiques 3D (en France métropolitaine ou dans les territoires d'Outre-mer) ou encore de la gestion des ressources en eau. Par exemple, le projet QUALI.NET, réalisé en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie, a permis de concevoir des outils d'analyses et de traitements statistiques avancés dans le domaine des eaux souterraines. Un outil couplant les approches SIG, le langage statistique R et différentes bases de données métiers est ainsi désormais disponible afin d'identifier les facteurs explicatifs de l'état chimique des eaux souterraines tel que demandé par la Directive-Cadre sur l'Eau.

SIMULATION ET MODELISATION

Le maintien d'un continuum entre les méthodes numériques, les techniques informatiques avancées et les applications métiers constitue un effort à long terme. La valorisation et la pérennisation des outils logiciels représentent un enjeu stratégique.

Dans le domaine de la modélisation 3D des écoulements et transferts dans les hydrosystèmes (aquifères et cours d'eau), le logiciel MARTHE (Modélisation d'Aquifères avec maillage Rectangulaire, Transport et Hydrodynamique) développé depuis plus de 20 ans par le BRGM, constitue une référence. La modélisation de plus de 200 aquifères, principalement dans le cadre de projets d'appui aux politiques publiques, témoigne de la

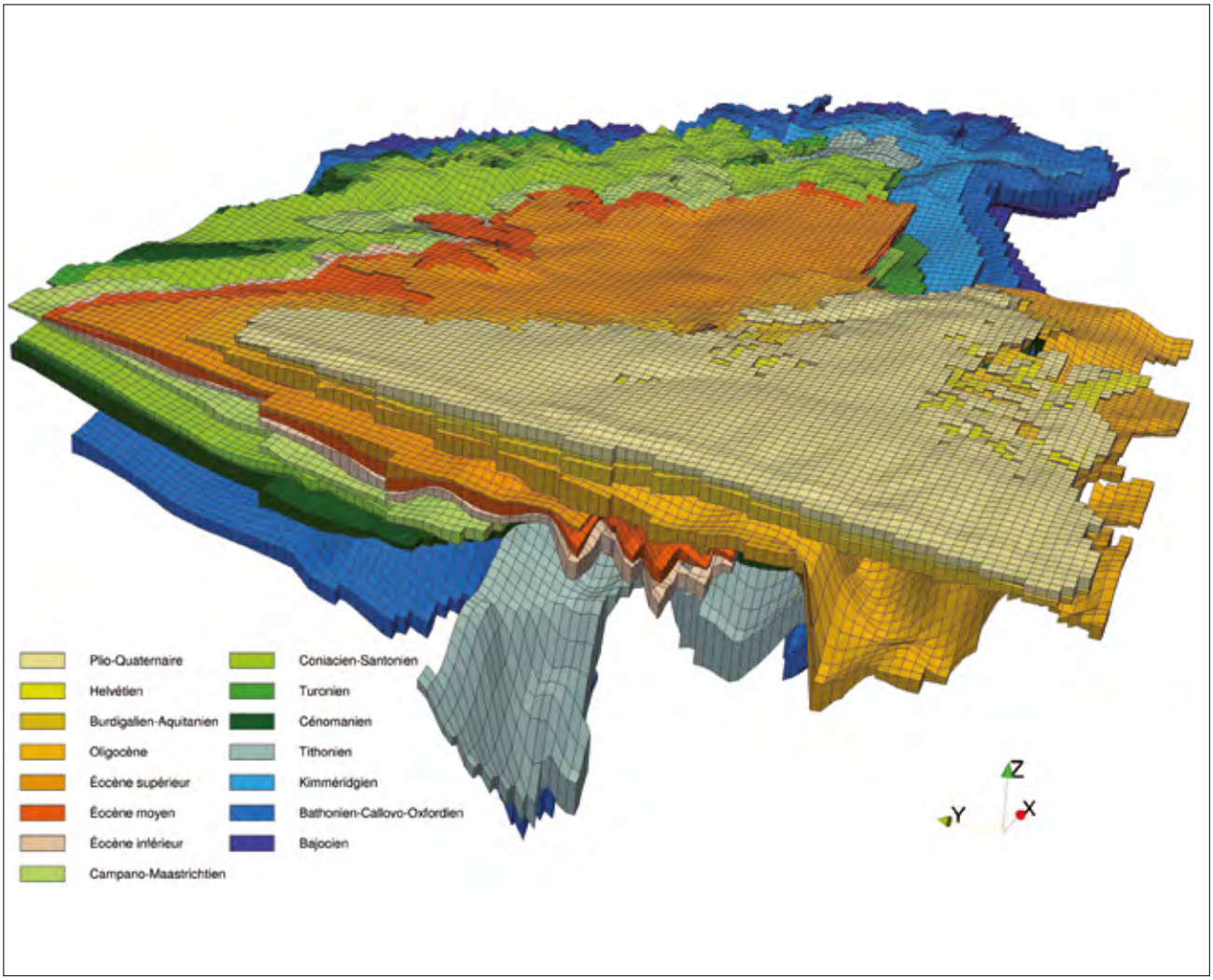


Fig. 58 - Modélisation avec le code MARTHE des écoulements dans le système aquifère Nord-Aquitain comportant 15 couches aquifères : Saltel et Pédron (2012).
© BRGM

robustesse de ce logiciel. Différents couplages (sol-atmosphère, géochimie, etc..) ont également été introduits et utilisés dans le cadre de projets de recherche, permettant ainsi de prendre en compte la complexité des hydrosystèmes à toutes les échelles ***(Fig.58)***.

BIG DATA POUR L'ENVIRONNEMENT

Concernant la gestion de grandes masses de données environnementales, les problématiques de passage à l'échelle se posent de manière explicite (observatoires environnementaux, réseaux sociaux, traitement des incertitudes). L'émergence du Big Data constitue une opportunité de valorisation de ces volumes de données, induisant un changement de paradigme (matériel, logiciel, algorithmique) par rapport aux solutions traditionnellement mises en œuvre.

Le déploiement opérationnel de ces solutions a connu une accélération forte ces deux dernières années, notamment dans les domaines du traitement de données satellitaires, en géophysique ou encore dans le domaine du génome.

Le BRGM a fortement investi dans cette direction, par exemple dans le cadre du projet Hub'Eau. Lancé en 2016, il vise à constituer un entrepôt de l'ensemble des données sur l'eau en permanence alimenté et actualisé par les producteurs institutionnels ("data lake") puis à assurer des opérations de traitement en continu pour les restituer auprès des utilisateurs via Internet (http://api.hubeau.fr/).

Une description de cette architecture est proposée ci-dessus. Elle s'articule autour d'une puissance de traitement de plus de 240 cœurs et 500 To de stockage dédiée à l'analyse avancée (data sciences) et au traitement de données environnementales ***(Fig.59 et 60)***.

Plus largement, l'opportunité est offerte au BRGM d'occuper une place originale sur la structuration/diffusion de données environnementales et sur la fourniture de services à fortes valeurs ajoutées (traitements à la demande, flux de données standardisées, etc.).

Fig.59 (en haut) - Capacité totale de 240 cœurs pour le calcul et 500 To bruts pour le stockage.

Fig.60 (en bas) - Vision physique et logique de l'architecture Big Data déployée au BRGM.

CAPITALISATION ET DIFFUSION DE L'INFORMATION - PRODUITS ET SERVICES ASSOCIÉS

Ce programme regroupe l'ensemble des activités de l'établissement orientées vers l'acquisition, la gestion et la valorisation de l'information numérique sur le territoire national. Les projets qui le composent partagent à la fois les missions classiques de gestion de données - de la maintenance au support des usagers - et l'expérimentation et la mise en place de méthodologies ou services innovants au plus près des besoins des utilisateurs.

L'esprit du programme est d'encourager le transfert rapide de résultats de recherche et développement dans des projets opérationnels, exploratoires et de coopération. Par ailleurs, le programme identifie les problématiques des utilisateurs - des citoyens aux autorités publiques - pour en faire des terrains d'expérimentation de l'innovation actuelle. À titre d'exemple, les services Web de valorisation des référentiels hydrographiques et hydrogéologiques, conçus et inventés dans le cadre du pôle de Recherche ONEMA (aujourd'hui AFB) / BRGM (INSIDE : http://www.pole-inside.fr) aujourd'hui proposés comme services "garantis" auprès des autorités publiques, illustrent l'importance de ce transfert technologique.

LA DIFFUSION DE L'INFORMATION LOCALE SUR LES EAUX SOUTERRAINES EN RÉGIONS

Les SIGES (Systèmes d'information pour la gestion des eaux souterraines) sont des outils pratiques, accessibles à tous qui permettent de trouver, en quelques clics,

des données hydrogéologiques locales actualisées, jusque-là disséminées sur de nombreux sites. Depuis plusieurs années, le BRGM et ses partenaires en régions ont entrepris une refonte totale des portails sur les eaux souterraines pour faire des SIGES un accès au service des experts comme des citoyens.

La stratégie mise en œuvre par le BRGM et ses partenaires en région est fondée sur la mutualisation et l'harmonisation des sites SIGES : une charte graphique commune, un accès aux données nationales de référence, des contenus éditoriaux pédagogiques auxquels viennent s'ajouter des données et des contenus régionaux spécifiques pour chaque territoire couvert. L'architecture informatique offre une forte autonomie aux administrateurs régionaux afin d'enrichir le contenu des SIGES. De plus, le respect des standards d'interopérabilité - standards de l'Open Geospatial Consortium (OGC) en cohérence avec les obligations de la Directive européenne INSPIRE et avec les standards documentaires OAI-PMH - simplifie la publication de nouvelles sources de données internes et externes dans le site web.

Les travaux d'enrichissement se sont poursuivis en 2016, tant en matière de contenus que de fonctionnalités. Un module d'export des données cartographiques (format SIG) est mis en place progressivement sur l'ensemble des portails. L'année 2016 a également été marquée par l'intégration de la Banque de données nationale des traçages hydrogéologiques (BD Traçages) au sein des SIGES ***(Fig.61 et 62)***.

LES OBSERVATOIRES DU LITTORAL

Trois portails dédiés au littoral ont été ouverts en Aquitaine, Languedoc-Roussillon et en Corse, pour appuyer le programme "Observatoires et réseaux de suivi du littoral". L'Observatoire Régional des Risques Majeurs (ORRM) de PACA a aussi intégré cette thématique du littoral dans son site de diffusion.
La vocation de ces sites est de remonter toutes les données et les informations sur le littoral liées à un périmètre régional, pour les acteurs du domaine, les décideurs locaux et institutionnels ainsi que les citoyens. Une base de connaissance sur les observations des tempêtes y est adossée, elle apporte des éléments quantifiables pour le suivi des impacts occasionnés par ces dernières.

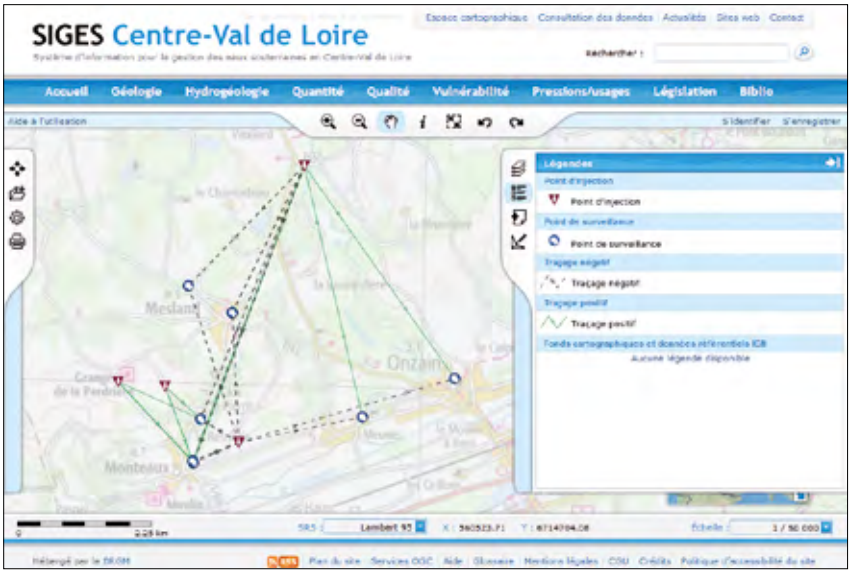


Fig.61 - Visualisation de traçages hydrogéologiques (SIGES Centre-Val de Loire).
© BRGM

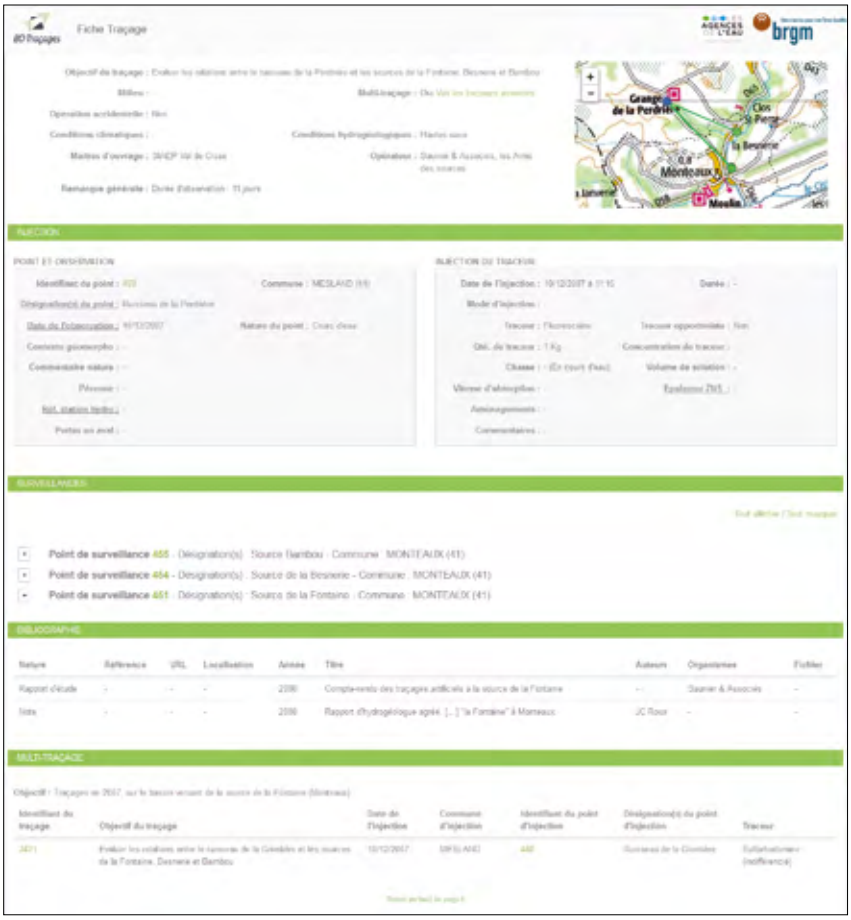


Fig.62 - Fiche d'un traçage hydrogéologique (BD Traçages).
© BRGM

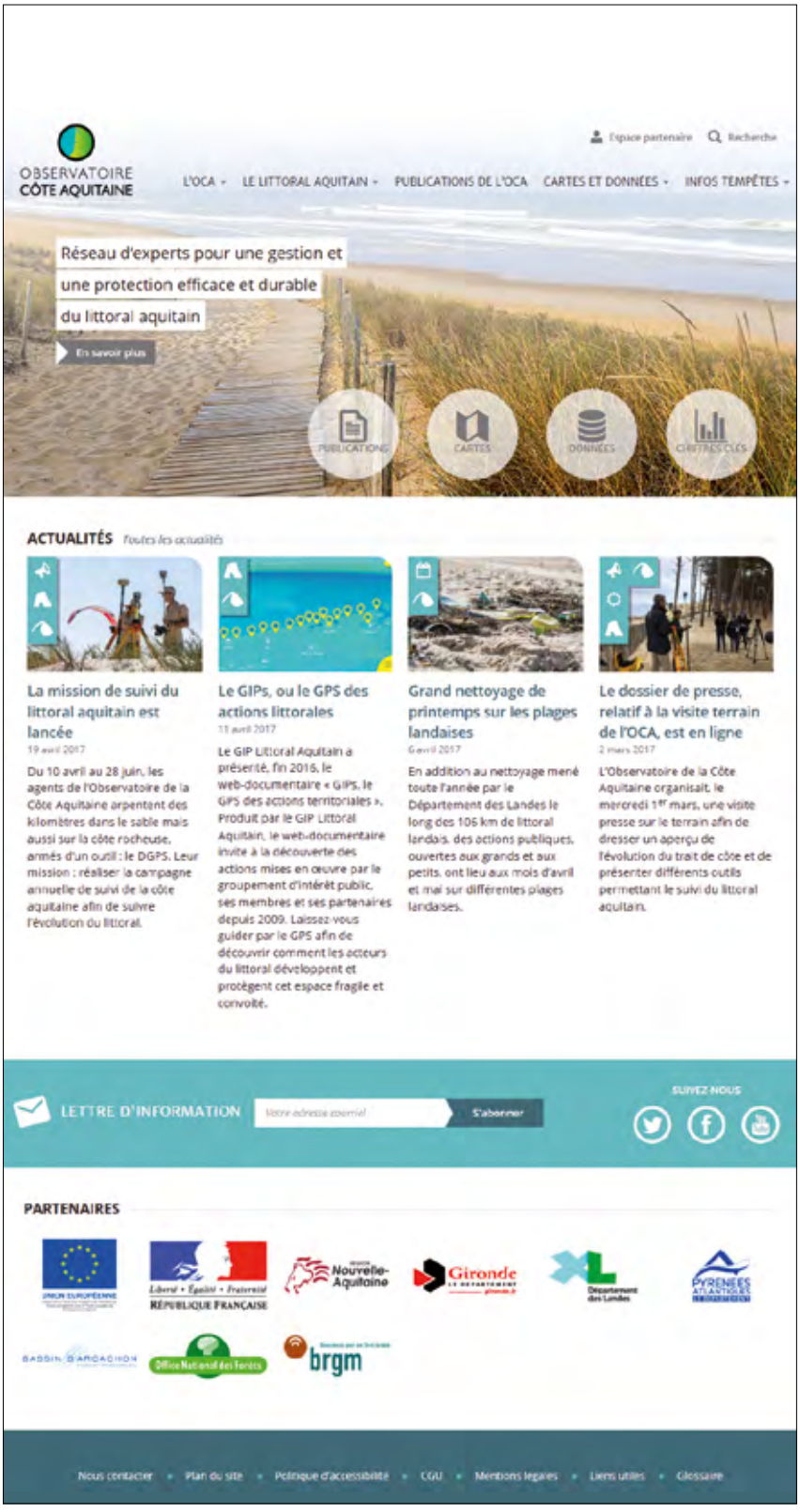


Fig.63 - Nouveau site Internet de l'Observatoire de la Côte Aquitaine. © BRGM

En 2016, l'Observatoire de la Côte Aquitaine a entrepris la refonte de son site Internet afin de renforcer sa visibilité au niveau régional et national ***(Fig.63)***. La charte graphique a été entièrement revue. Plus moderne et conviviale, ouverte sur les réseaux sociaux, elle est adaptée à tous types de périphériques de lecture.

MISE À DISPOSITION DE L'INFORMATION GÉOSCIENTIFIQUE SUR INFOTERRE

Dans le cadre de ses missions d'appui aux politiques publiques, le BRGM accompagne la politique de diffusion et de partage de l'information géoscientifique et plus globalement environnementale en France.

Au titre de ses missions de porter à connaissance scientifique et technique du sous-sol, la plateforme cartographique InfoTerre offre à l'usager un accès gratuit à toutes les bases de données interopérables du BRGM. Ainsi, plus de 270 bases de données et de couches d'informations géoréférencées sont disponibles. Ces mêmes données sont utilisables par des services en ligne mis à disposition et permettant à toute la communauté scientifique, aux autorités publiques et aux citoyens d'y accéder et de les réutiliser. InfoTerre a ainsi comptabilisé près de 700 000 visites en 2016.

InfoTerre assure également la mise à disposition de l'ensemble des rapports produits par le BRGM. Ainsi, 26 500 rapports publics sont décrits, indexés par un moteur de recherche. Ils sont téléchargeables gratuitement. La totalité de la production concernant le territoire français de l'activité d'appui aux politiques publiques du BRGM est accessible sur la plateforme InfoTerre. En 2016, environ 30 000 rapports ont été téléchargés par les internautes.

Plus d'informations sur :
http://infoterre.brgm.fr

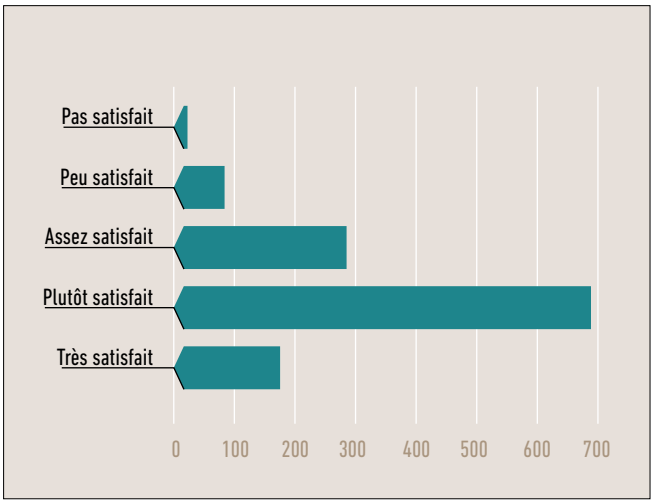


Fig.64 - Appréciation globale des internautes.
© BRGM

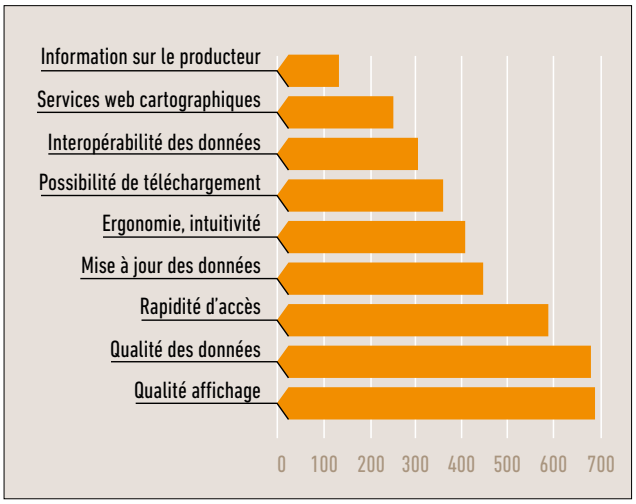


Fig.65 - Préoccupations des usagers.
© BRGM

L'ÉCOUTE DES UTILISATEURS D'INFOTERRE : ENQUÊTE DE SATISFACTION ET DES BESOINS

Accompagner nos utilisateurs dans la navigation et adapter les outils en fonction des difficultés rencontrées sont des actions complémentaires essentielles à la mise à disposition de bases de données et outils du numérique. En 2016, le dispositif d'accueil national a répondu à plus de 4 800 questions et demandes d'informations soumises par le public.

Dans un souci de placer l'internaute et ses usages au centre du dispositif, une enquête de satisfaction et de besoins concernant le portail InfoTerre a été conduite au mois de septembre 2016. Plus de 1 200 réponses ont été recueillies ; elles témoignent de l'intérêt des utilisateurs pour les possibilités de l'outil en matière de croisement et d'exploitation des données ***(Fig.64)***. Si des difficultés d'utilisation demeurent, notamment liées à la multiplicité des couches d'information interopérables et à une ergonomie perfectible, le degré de satisfaction et la fréquence d'usage sont élevés.

L'un des enseignements de cette enquête est l'appétit des internautes pour les curiosités géologiques et le géo-tourisme. La mise en œuvre de ces services constitue un nouveau challenge pour l'avenir du site et la possibilité pour le BRGM de nouer un dialogue avec un public élargi. Les suggestions ont été nombreuses en ce sens : parcours de randonnées géologiques, crowdsourcing photographique, etc. ***(Fig.65)***.

LA MOBILITÉ POUR LES GÉOSCIENCES

Depuis cinq ans, le BRGM conçoit et développe des applications mobiles dédiées aux sciences de la Terre et aux différents domaines de l'établissement : i-InfoTerre, InfoNappe et InfoGeol sont les trois applications disponibles sur les magasins d'applications Apple et Android.

En 2016, les différentes applications sur smartphones ont été téléchargées près de 16 000 fois, ce qui porte à plus de 110 000 le nombre d'applications mobiles BRGM installées depuis leur création.

LA SIMPLIFICATION DES PROCÉDURES DE SAISIE ET DÉCLARATION EN LIGNE

Le BRGM poursuit la modernisation et la simplification des procédures administratives et/ou techniques pour la collecte de données scientifiques, en mettant à disposition de nouvelles interfaces de saisie via Internet. Tous les domaines du BRGM sont concernés par cette évolution numérique et partagée des pratiques de collecte de données.

À ce titre, le BRGM est chargé de la gestion et de l'animation du système de télédéclaration des données industrielles d'autosurveillance GIDAF (Gestion Informatisée des Données d'Autosurveillance Fréquente).
L'application est aujourd'hui utilisée par plus de 30 000 utilisateurs (industriels, services de l'État), dont 2 100 nouveaux comptes en 2016. Elle a permis de (télé) saisir plus de 60 000 déclarations et de capitaliser un peu plus de 12 millions de nouvelles mesures d'analyses, essentiellement d'eau et plus accessoirement d'air. Cette progression s'inscrit dans le contexte de l'évolution réglementaire de l'arrêté du 28 avril 2014, qui a rendu l'outil "obligatoire pour la transmission des données de surveillance des émissions, en lieu et place de la transmission par papier" au 1er janvier 2015.

De même, dans le cadre de la simplification des démarches administratives et d'un projet sur la déclaration des ouvrages souterrains (DUPLOS) soutenu par le programme d'investissement d'avenir (PIA) et le Ministère chargé de l'Environnement, le BRGM poursuit la démarche de télé service sur les ouvrages souterrains. Après le site de télédéclaration pour la géothermie de minime importance, les travaux visent désormais à mettre en œuvre une déclaration en ligne pour tous les ouvrages concernés par le code minier et la loi sur l'Eau.

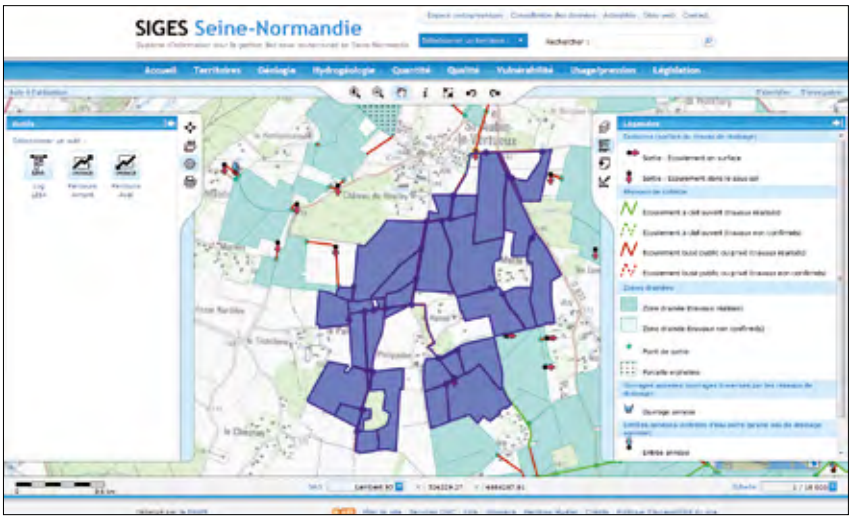


Fig.66 - Visualisation de parcelles drainées et réseau de collecte dans le SIGES Seine-Normandie. © BRGM

2016 a aussi vu le lancement du site dédié à la déclaration des Secteurs d'Information sur les Sols (SIS). L'article 173 de la loi ALUR (loi n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové) prévoit en effet que l'État élabore des Secteurs d'Information sur les Sols répertoriant les "terrains où la connaissance de la pollution des sols justifie, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et de mesures de gestion de la pollution". Cette application web, principalement à destination des DREAL, permet la saisie des SIS via une interface cartographique et des champs descriptifs. Plus de 3 500 zones ont déjà été saisies dans l'application dont la diffusion publique est, à terme, prévue via Géorisques.

DE NOUVEAUX CAPTEURS CONNECTÉS D'ACQUISITION DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

S'appuyant sur les travaux appliqués à la recherche sur l'interopérabilité des capteurs *in situ*, le BRGM améliore progressivement sa capacité à collecter plus vite et à préserver les données des piézomètres dans le cadre de son réseau d'observation des niveaux d'eau. Combinant l'évolution de la connexion des capteurs piézométriques, la disponibilité des réseaux mobiles et le développement de l'interopérabilité des données de mesure, le BRGM a expérimenté l'acquisition et la bancarisation des données en temps continu. La mise à disposition et la réutilisation de ces données sont ensuite offertes via des standards d'interopérabilité.

Les drones, déjà utilisés dans certaines missions du BRGM, notamment celles d'observation du littoral peuvent aujourd'hui embarquer tous types de capteurs. Afin de mieux appréhender cette nouvelle pratique, des réflexions sur la gestion des données massives issues de ce mode d'acquisition ont été engagées.

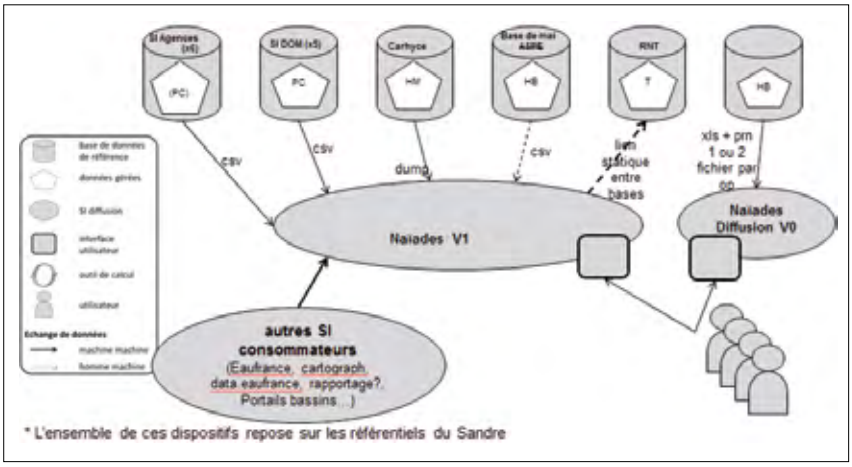


Fig.67 - Schéma des différents flux d'alimentation des producteurs de données vers Naïades.

BANCARISATION ET VALORISATION DE LA DONNÉE PATRIMONIALE SUR LES DRAINAGES AGRICOLES

Le projet de bancarisation des données sur les installations drainantes et les réseaux de collecte associés a pour objectif de préserver ce patrimoine d'informations grâce à la numérisation. La conception ainsi que la démarche adoptée permettent l'expression des relations d'écoulement des eaux drainées. Cette banque de données, agrémentée de services pour le partage et la diffusion, apporte une réelle valorisation et compréhension de l'environnement du territoire ***(Fig.66)***.

LA DIFFUSION DES DONNÉES SUR LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE CONTINENTALES

Dans le cadre du Système d'Information sur l'Eau, le BRGM et l'ONEMA (aujourd'hui AFB) ont ouvert un site national pour la diffusion des éléments de qualité biologiques, hydro-morphologiques et physico-chimiques des cours d'eau et des plans d'eau – nommé Naïades-diffusion – dès 2015. En 2016, une deuxième version du site (nommée Naïades) a été ouverte (http://naiades.eaufrance.fr), donnant l'accès aux données qualifiées des producteurs sur la qualité des eaux de surface de la France métropolitaine et des

DROM sur les aspects physico-chimique, hydro-morphologique, ichtyologique et température. En étroite collaboration avec les équipes de l'ONEMA/AFB, le BRGM a organisé la récupération des données auprès de leurs différents producteurs (Agences de l'eau, offices de l'eau, ONEMA/AFB) ainsi que leur diffusion. Le détail des données disponibles est accessible via Naïades ***(Fig.67)*** (http://naiades.eaufrance.fr/quelles-donnees).

Plus d'informations sur :
http://naiades.eaufrance.fr

GÉORISQUES PUBLIQUE : LA PLATEFORME CARTOGRAPHIQUE POUR LES RISQUES EN FRANCE

GéoRisques est la plateforme publique d'information sur les risques. Elle répond aux besoins des acteurs publics et des citoyens de connaître et de s'informer sur les risques naturels et technologiques, en particulier via un support cartographique.

En 2016, le rôle structurant des deux plateformes de diffusion des données et d'information sur les risques a été renforcé :

• la version Géorisques Autorités Publiques (www.georisques.fr) permet d'accéder à des données métiers ou en cours d'élaboration. Elle propose désormais des fonctions dédiées aux métiers : avancement de la production des données sur les inondations, accès aux outils de télé-saisie, informations détaillées sur les inondations, sur les installations classées et les émissions polluantes ;

• dans sa version publique, GéoRisques (georisques.gouv.fr) offre un portail d'accès simplifié et original ("Ma maison / Mes risques") aux données sur les risques concernant le citoyen qui s'étend progressivement avec l'ajout de nouvelles données. La visualisation et le téléchargement des données (en remplacement du site CartoRisques) a permis d'accroître la notoriété du portail public, qui a enregistré plus de 800 000 visites au cours de l'année 2016.

En 2016, les données proposées dans le site CartoRisques (fermé en janvier 2016) ont été intégrées au site GéoRisques version publique : l'intégralité des données sur les inondations peut à présent être téléchargée. Outre le téléchargement direct des données, GéoRisques propose désormais également l'accès aux données cartographiques à partir d'un service web cartographique spécifique (WMS/WFS OGC) : http://georisques.gouv.fr/services.

Plus d'informations sur :
http://georisques.gouv.fr

DES HACKATHONS POUR ACCÉLÉRER LE PARTAGE ET LA RÉUTILISATION DES DONNÉES NUMÉRIQUES

Le BRGM s'est mobilisé sur deux évènements majeurs pour la promotion et la valorisation de ses données numériques en 2016. En juin, dans le cadre du projet Hub'Eau, il a co-organisé avec l'ONEMA/AFB une journée "Hackathon" sur la réutilisation des données publiques sur l'eau. L'évènement a attiré près de 80 personnes de différents horizons et régions venues réfléchir sur des sujets proposés et inventer les applications de demain. En novembre 2016, le BRGM a collaboré à l'élaboration du Hackathon sur les risques naturels avec le Ministère chargé de l'Environnement (dans le cadre de la GreenTech Verte), au cours duquel le savoir-faire acquis sur Géorisques et le traitement des données des réseaux sociaux ont été particulièrement mis en valeur.

Plus d'informations sur :
http://www.hubeau.fr
et
http://www.developpement-durable.gouv.fr/hackathon-hackrisques

URBANISATION ET GESTION DE L'INFORMATION GÉOSCIENTIFIQUE

Ce programme regroupe l'ensemble des projets relatifs à la définition et à la mise en œuvre d'architectures de systèmes d'information et à la coordination et la mutualisation des moyens. L'urbanisation des systèmes d'information, à la manière de l'organisation d'une ville, garantit le meilleur usage possible des technologies (infrastructure, réseaux, logiciels partagés, services réutilisables...) pour les besoins des utilisateurs tout en veillant à assurer la cohérence et la pérennité, y compris économique, des systèmes.

Pour les sciences de la Terre et de l'Environnement, le développement de grands systèmes d'information repose de plus en plus sur la collaboration de nombreux acteurs à des échelles nationale, européenne ou mondiale (INSPIRE, EPOS, OneG, GEOSS, etc.). Cette collaboration se traduit par le développement et la mise en œuvre de standards d'interopérabilité internationaux et ouverts, permettant de développer ces systèmes d'information sur des architectures distribuées.

ÉVOLUTION DE LA BANQUE DU SOUS-SOL

Gérée et administrée par le BRGM pour le compte de l'État, la Banque de données du sous-sol (BSS) est la base nationale qui conserve l'ensemble des informations techniques et administratives des sondages, ouvrages souterrains et travaux de fouille sur l'ensemble du territoire national.

Fig.68 - BSS cartographie.
© BRGM

Fig.69 - Portail Eaufrance avec lien vers les différents sites.
© BRGM

Actuellement, cette base met à disposition du public plus de 840 000 descriptions d'ouvrages souterrains accompagnées d'un ensemble de plus de deux millions de documents numérisés (cartes, rapports, coupes...).

En 2015 s'est engagé un large chantier sur l'évolution de la banque du sous-sol, afin de mieux répondre aux attentes des utilisateurs tout en s'adaptant aux exigences de l'État en matière de connaissance et de partage de l'information publique. Sa refonte s'est aussi inscrite dans la constitution d'un véritable référentiel national ***(Fig.68)***. Elle a notamment permis, en 2016, de remplacer l'ancien code de chaque ouvrage (issu de la carte géologique) par un code national garantissant sa pérennité, sa stabilité dans le temps et sa faculté à échanger des informations (interopérabilité).

DES SERVICES NUMÉRIQUES POUR LE SYSTÈME D'INFORMATION SUR L'EAU (SIE)

Le BRGM s'est engagé avec l'ONEMA/AFB à urbaniser le système d'information français sur les données de l'eau. Cela se traduit par l'apport aux partenaires d'un soutien opérationnel, mobilisant l'expertise des architectes techniques et applicatifs, la mise à disposition de ressources informatiques pour la gestion et la diffusion Web de la toile "Eaufrance" (www.eaufrance.fr). Plus de 30 projets et la plupart des sites "eaufrance.fr" s'appuient sur l'infrastructure technique et applicative proposée pour la préservation, la diffusion et l'archivage des données sur l'eau ***(Fig.69)***.

En 2016 ont été menées :

• la mise en œuvre d'un service d'authentification unique (en anglais Single Sign On : SSO) qui permet à un utilisateur d'accéder à toutes les applications web de la toile Eaufrance ainsi qu'à la synchronisation avec l'annuaire des utilisateurs de l'ONEMA/AFB ;

• le développement d'un service d'index géographique (parfois nommé gazetteer) qui permet de localiser sur une carte des points ou polygones d'intérêts métiers dans le domaine de l'eau ;

• le développement d'extensions (plug-ins) pour la brique cartographique (GéoSIE) avec l'intégration du service d'index géographique dans la brique GeoSIE et la gestion d'un contexte d'environnement de travail dédié à chaque utilisateur.

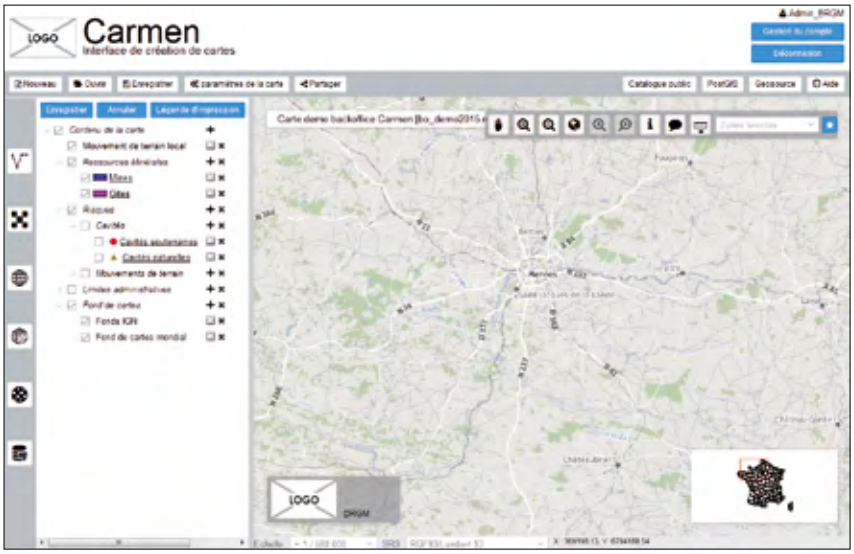


Fig.70 - Carmen : nouvelle interface de création de cartes.

GÉOCATALOGUE : LE CATALOGUE DE RÉFÉRENCE DES DONNÉES GÉOGRAPHIQUES PUBLIQUES EN FRANCE

Le projet Géocatalogue s'inscrit depuis six ans dans la dynamique de la directive européenne INSPIRE, transposée en droit français en 2011. Le Géocatalogue constitue le point d'accès à la description des données et services diffusés par les autorités publiques. Il est la réponse de l'État français à ses obligations de rapportage à l'Europe.

Le BRGM accompagne la démarche de fonctionnement de l'Infrastructure de Données Géographiques (IDG) en renforçant ses relations avec les plateformes de diffusion nationales (Geo-IDE Catalogue, CARMEN), régionales (dont GéoBretagne, Pégase, PIGMA[15], GéoRhôneAlpes, Guyane SIG...) et thématiques (Sextant, SINP[16], Géoportail de l'Urbanisme, etc.) et en valorisant l'interopérabilité opérationnelle entre les catalogues locaux et le catalogue national.

En 2016, plus de 2 000 producteurs ont référencé leurs données et services géographiques. Avec plus de 72 000 références, près de 100 000 visites par an mais surtout plus de 4,5 millions d'appels, en 2016, à son service de recherche, le Géocatalogue est aujourd'hui, en France, le catalogue de référence de l'information géographique.

En 2016, le Géocatalogue s'est doté d'un outil de tableau de bord, le "dashboard", permettant le calcul des indicateurs nécessaires au rapportage européen de la directive INSPIRE ainsi que la déclinaison de ces indicateurs (entre autres) au niveau régional, à destination des plateformes de diffusion régionales.

Plus d'informations sur :
www.geocatalogue.fr

CARMEN, LA PLATEFORME CARTOGRAPHIQUE DE DIFFUSION DE DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

CARMEN (CARtographie du Ministère de l'ENvironnement) constitue l'outil de référence de publication de données géolocalisées dans le domaine environnemental. En France, l'application s'adresse en particulier aux partenaires du Système d'Information Nature et Paysage (SINP), du Système d'Information sur l'Eau (SIE) et répond aux besoins de publication de la DGPR et du BRGM.

Près de 250 administrateurs de données, répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain et d'Outre-mer, mettent à profit l'application sur Internet pour publier leurs données géographiques, créer des cartes et produire des services Web en ligne conformes aux exigences de la directive INSPIRE. Avec près de 342 000 visites en 2016, la plateforme Carmen fournit près de 1 700 cartes et 550 services web cartographiques.

La nouvelle interface de création de cartes simplifiée et modernisée offre un service plus convivial aux adhérents et accélère la publication des données localisées ***(Fig.70)***.

Plus d'informations sur
http://carmen.naturefrance.fr.

LE SYSTÈME D'INFORMATION SUR LA NATURE ET LES PAYSAGES (SINP)

Le catalogue national du Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP) conduit par le Ministère chargé de l'Environnement (DGALN/DEB) et le BRGM recense des dispositifs de collectes (inventaires) de données sur la nature et les paysages. Les producteurs y saisissent, via un outil en ligne, leurs métadonnées. Ce catalogue constitue un outil précieux pour l'Observatoire National de la Biodiversité.

Le BRGM apporte également un appui technique et méthodologique, dans un souci de respect de la directive INSPIRE, à la création d'un nouveau catalogue du SINP (disponible en 2017), pour tous les acteurs de biodiversité en France.

Plus d'informations sur
http://inventaire.naturefrance.fr/.

[15] PIGMA : Plateforme d'Information Géographique Mutualisée en Aquitaine.
[16] SINP : Système d'Information sur la Nature et les Paysages.

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

HUB'EAU : UN HACKATHON POUR AMÉLIORER L'ACCÈS AUX DONNÉES SUR L'EAU

Le 1er juin 2016, à Issy-les-Moulineaux, le Ministère chargé de l'Environnement, le BRGM et l'ONEMA (aujourd'hui AFB) ont organisé le hackathon Hub'Eau, dans le cadre du 95ème congrès de l'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement (ASTEE) dédié aux "Territoires en transition : mettre l'intelligence numérique au cœur des services publics".

Il a réuni 70 développeurs informatiques, scientifiques, data-journalistes, web designers, associations, décideurs et acteurs du domaine de l'eau et de l'environnement qui ont testé la plateforme Hub'Eau afin de répondre au mieux aux besoins des internautes, qu'ils soient privés (datajournalistes, start up, développeurs de services, bureaux d'étude...) ou publics (collectivités, gestionnaires de Schémas d'Aménagement et de Gestion de l'Eau, Etablissements Publics Territoriaux de Bassin, services de l'État...). Une liste de défis, non exhaustive, a été proposée pour échanger, autour des sujets suivants : indicateurs des services d'eau et d'assainissement, niveau des aquifères, qualité des rivières, état piscicole. Ainsi, à partir des données disponibles sur les poissons, les services d'eau et d'assainissement, le niveau des nappes d'eau, ou encore la chimie des cours d'eau, dix sujets ont émergé des travaux des participants.

Cet événement collaboratif a contribué à faire naître un écosystème d'utilisateurs des données sur l'eau avec, à la clé, de futures collaborations possibles.

Le 1er juin 2016, le hackathon Hub'Eau a réuni 70 développeurs, data-journalistes, scientifiques et acteurs de l'environnement, pour travailler sur la réutilisation des données sur l'eau.
© BRGM

BD DRAINAGE, LA BANCARISATION DES DONNÉES SUR LE DRAINAGE AGRICOLE : UN OUTIL POUR LA CONNAISSANCE DES INSTALLATIONS DRAINANTES ET LA RÉDUCTION DES TENSIONS SUR LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE

L'Association Régionale pour l'Étude et l'Amélioration des Sols (AREAS) et le BRGM, en partenariat avec l'Agence de l'eau Seine-Normandie et les Départements de l'Eure et de la Seine-Maritime, ont mis en ligne en 2016 la BD Drainage sur le drainage agricole.

Résultat de deux années de collaboration, ce nouvel outil offre une cartographie interactive des parcelles drainées et des réseaux de drainage. Il permet ainsi d'améliorer l'état des connaissances sur les régimes d'infiltration dans les sols et les modes d'écoulement de l'eau à l'échelle d'une parcelle et/ou d'un bassin versant.

Au-delà de l'enjeu de préservation de l'information patrimoniale, la BD Drainage contribue à une réelle compréhension du transport des eaux drainées et de leur rejet dans le milieu. Elle permettra de mettre en œuvre des projets de simulation d'écoulements ou de transport de composés chimiques, de mieux comprendre les mécanismes environnementaux mis en jeux et concourt ainsi au processus de décision en matière de gestion de l'eau et des risques.

Diffusion et consultation de la BD Drainage sur le SIGES Seine-Normandie (exemple du chemin amont).
© BRGM

ÉVOLUTION DE LA BANQUE DE DONNÉES DU SOUS-SOL (BSS)

Gérée et administrée par le BRGM, la Banque de données du sous-sol (BSS) est la base nationale qui conserve l'ensemble des informations relatives aux ouvrages souterrains (sondages, puits et forages) et travaux de fouille sur l'ensemble du territoire national. Actuellement, cette base met à disposition du public plus de 840 000 descriptions d'ouvrages accompagnées d'un ensemble de plus de deux millions de documents numérisés (cartes, rapports, coupes...).

Pour répondre aux attentes d'aujourd'hui des utilisateurs, renforcer sa pérennité et optimiser sa faculté d'échanger des informations avec d'autres bases de données (interopérabilité), la Banque de données du Sous-sol doit évoluer vers un système d'information et devenir un référentiel national.

La mise en place de ce nouveau système d'information de la BSS (ou SI BSS) s'articule sur une période de trois ans. Les évolutions à venir mèneront vers :
• un portail unique de télédéclaration des ouvrages ;
• une traçabilité et une validation renforcées de la donnée ;
• la possibilité pour les usagers de proposer des modifications sur les données existantes ou d'intégrer de nouvelles données ;
• une continuité avec le Référentiel Géologique de la France (RGF).

InfoTerre – Diffusion du SI BSS.
© BRGM

DASHBOARD : LE TABLEAU DE BORD DU GÉOCATALOGUE

Le Géocatalogue répond, en France, à la mise en œuvre de la directive européenne INSPIRE, dont l'objectif est de faciliter l'accès et la réutilisation des données géographiques environnementales produites par les administrations, les établissements publics et les collectivités territoriales. Mis en œuvre par le BRGM, il constitue le catalogue national de toutes les informations géolocalisées publiques. C'est sur la base de cet inventaire centralisé que la France procède au rapportage annuel de la mise en œuvre de la directive INSPIRE auprès de la Commission européenne.

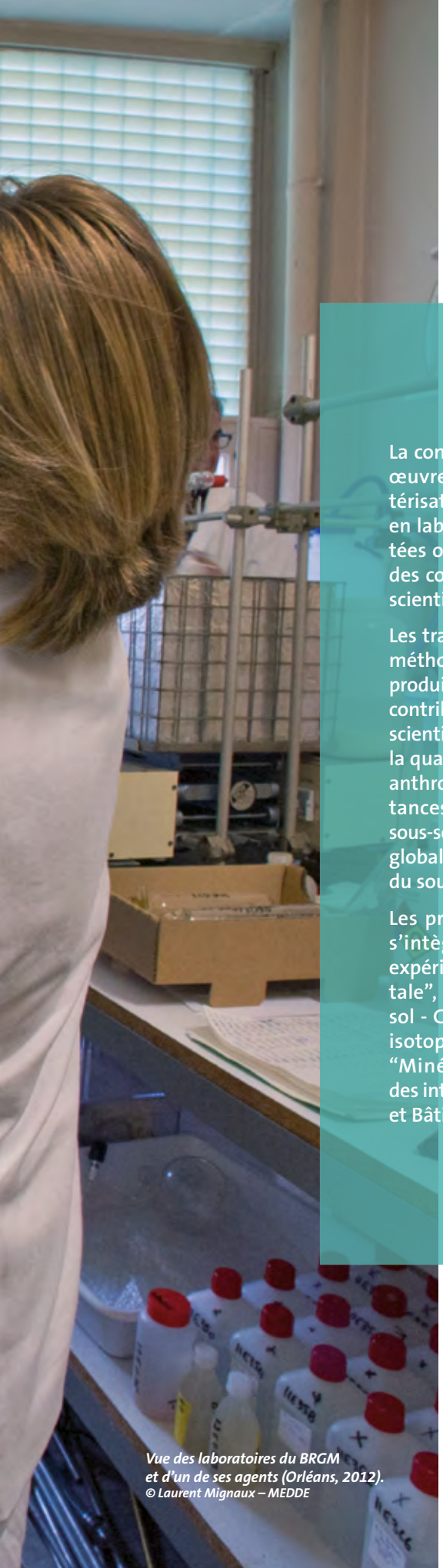
Afin de fournir les indicateurs de suivi exigés (nombre de données et de services, conformité et accessibilité des ressources, etc.), le BRGM a déployé en 2016 l'outil "Dashboard". Cet outil Open Source, développé par la Commission européenne, permet le calcul automatique d'indicateurs et leur affichage interactif et dynamique dans une page web.

À l'échelle nationale, Dashboard permet d'apprécier l'effort de diffusion des données spatiales environnementales mené par plus de 300 organismes (services de l'État, collectivités territoriales, établissements publics, associations, universités,...) qui publient leurs métadonnées et services géographiques sur le Géocatalogue.

INSPIRE : Directive 2007/2/CE du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE).

Dashboard

LABORATOIRES ET PLATEFORMES



Vue des laboratoires du BRGM et d'un de ses agents (Orléans, 2012).
© Laurent Mignaux – MEDDE

La conception, le développement et la mise en œuvre de méthodologies d'analyse, de caractérisation, d'observation et d'expérimentation, en laboratoire, sur des plateformes instrumentées ou sur sites naturels ou anthropisés, sont des composantes essentielles d'une démarche scientifique de haut niveau.

Les travaux relevant de cet axe, et les outils et méthodologies qui en résultent, permettent de produire des données scientifiques originales qui contribuent à la résolution de questionnements scientifiques et sociétaux, tels que l'évolution de la qualité des milieux impactés par les activités anthropiques et l'émergence de nouvelles substances, la caractérisation physique du proche sous-sol pouvant être impactée par le changement global[17], ou encore l'exploitation des ressources du sous-sol dont la géothermie.

Les projets d'appui aux politiques publiques s'intègrent dans les programmes : "Chimie, expérimentation et métrologie environnementale", "Auscultation physique du proche sous-sol - Géophysique et Télédétection", "Traceurs isotopiques et datations géochronologiques", "Minéralogie, texturologie, physico-chimie des interfaces" et "Centre Technique Géothermie et Bâtiment".

140
CHIMIE, EXPÉRIMENTATION ET MÉTROLOGIE ENVIRONNEMENTALE

142
AUSCULTATION PHYSIQUE DU PROCHE SOUS-SOL - GÉOPHYSIQUE ET TÉLÉDÉTECTION

144
TRACEURS ISOTOPIQUES ET DATATIONS GÉOCHRONOLOGIQUES

144
MINÉRALOGIE, TEXTUROLOGIE, PHYSICO-CHIMIE DES INTERFACES

144
CENTRE TECHNIQUE GÉOTHERMIE ET BÂTIMENT

148
PROJETS REMARQUABLES

[17] *Changement global : toutes modifications majeures engendrées tant par les activités anthropiques que par les facteurs naturels.*

CHIMIE, EXPÉRIMENTATION ET MÉTROLOGIE ENVIRONNEMENTALE

Ce programme s'inscrit dans le domaine de la surveillance de l'environnement. Il s'attache à concevoir, développer et valider des outils et des méthodes ainsi que des dispositifs expérimentaux produisant des données analytiques fiables, robustes et en adéquation avec les contraintes imposées par les différentes réglementations, et particulièrement la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE). Il permet également de se positionner en amont de la réglementation pour anticiper de nouvelles demandes. Les données produites contribuent à l'évaluation, la quantification et la détermination de l'origine des contaminations d'origine naturelle ou anthropique. L'ensemble de la chaine analytique est concernée, depuis le prélèvement jusqu'à la mise en œuvre de l'analyse, tant pour les phases fluides que pour les phases solides et, dans une moindre mesure, pour les gaz.

L'activité d'appui aux politiques publiques réalisée au sein de ce programme est fortement liée à la mise en œuvre de la DCE et au rôle d'expert de l'EPIC auprès du Ministère chargé de l'Environnement, de l'ONEMA (aujourd'hui AFB), des gestionnaires de l'eau, etc. Elle se traduit notamment par la participation du BRGM à AQUAREF, le laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques (http://www.aquaref.fr/). L'année 2016 a vu le démarrage des actions prévues pour le cycle des actions 2016-2018. Le BRGM s'implique également dans les travaux de normalisation, au travers d'une participation aux comités AFNOR "Qualité de l'eau – Mesures physico-chimiques T91B" dont il assure la présidence et "Qualité des sols". Globalement, l'activité d'appui aux politiques publiques est diversifiée, avec notamment un appui technique au Ministère chargé de l'Environnement à travers sa Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et ses services déconcentrés (DREAL et DEAL). Cet appui consiste en l'animation d'un groupe de travail sur les analyses en contexte de sites et sols pollués et à la fourniture des opérations métrologiques identifiées comme manquantes, telles que la mise en place d'essais inter-laboratoires sur l'analyse de composés organiques dans les matrices solides, la validation de la méthode de détermination de la limite de quantification dans les sols ou la proposition de protocoles analytiques.

Cette activité d'appui s'adosse sur des travaux de recherche passés ou en cours, conduits notamment au sein de projets européens ou de projets cofinancés par l'ANR et autres établissements publics.

AQUAREF

Pilote de deux des neuf thèmes structurant le programme d'activités AQUAREF ("Recommandations, aide à la décision" et "Amélioration des pratiques d'échantillonnage"), le BRGM apporte également son expertise sur la plupart des autres thématiques. A titre d'exemples, on peut mentionner :

• Dans le cadre du thème "Améliorer les opérations d'échantillonnage" le BRGM a piloté la synthèse opérationnelle des actions 2013-2015 concernant les risques de contamination lors des opérations d'échantillonnage et la production d'un rapport sur la stabilité des substances. En effet en 2015, une étude avait été réalisée par AQUAREF afin d'apporter des informations sur la stabilité de 46 pesticides pour lesquels les données bibliographiques étaient incomplètes, et également de mettre en application le protocole et le mode de traitement des résultats détaillés dans le guide.

Dans la continuité de ces travaux, de nouveaux essais ont été menés en 2016 sur des eaux de surface. Le BRGM s'est centré sur onze substances pertinentes à surveiller (SPAS), faisant partie des listes de surveillance règlementaires pour les eaux de surface et/ou les eaux souterraines. Il s'agit de deux substances anticorrosives, benzotriazole et tolyltriazole, d'un plastifiant, le bisphénol A, de la caféine, de deux substances pharmaceutiques, la carbamazépine et le paracétamol, et de cinq conservateurs de produits de soin corporels : triclosan, triclocarban et parabènes (méthyl, éthyl et propylparabène). Enfin, une journée technique sur l'échantillonnage (19 octobre 2016) a rassemblé près de 80 participants (bureaux d'études, laboratoires, institutionnels, gestionnaires, etc.).

• Pour "Garantir la qualité des données bancarisées", le BRGM travaille en étroite collaboration avec le SANDRE afin d'améliorer les référentiels "chimie". Une exploitation de la base de données des eaux souterraines ADES (http://www.ades.eaufrance.fr/) a également été réalisée afin d'évaluer l'impact du changement de laboratoires sur les réseaux de surveillance.

• En lien avec "la normalisation", le BRGM participe à différents comités de normalisation (AFNOR au niveau national) et est également amené à participer à un groupe au niveau international (ISO 147 "Qualité de l'eau, méthodes physiques, chimiques et biologiques").

• En ce qui concerne le thème "Améliorer les opérations d'analyses physico-chimiques" le BRGM a réalisé une fiche méthode sur l'analyse des métabolites ESA et OXA des chloroacétanilides (une famille de pesticides) dans les eaux souterraines, ces substances commençant à être suivies. Certaines ont d'ailleurs été inscrites dans l'arrêté du 7 août 2015 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux.

• Outre ces métabolites, le besoin de développer et d'étudier l'applicabilité opérationnelle d'outils et de stratégies innovantes pour la surveillance des milieux est cruciale pour permettre, dans le futur, d'identifier et d'anticiper les risques émergents associés aux contaminants chimiques de manière plus pertinente et plus efficace, avec une attention particulière sur les coûts. Aussi, afin d'optimiser les méthodes de surveillance, des actions s'articulent autour des thèmes "Nouveaux outils et connaissance" et "Valider et transférer des méthodes et technologies innovantes". Plusieurs actions, pilotées par le BRGM, ont permis d'une part, de dresser un bilan des capacités analytiques des laboratoires de routine sur les métabolites de pesticides (action débutée en 2015 et se poursuivant) et d'autre part, d'apporter des éléments d'information et de réflexion sur l'utilisation d'une nouvelle technique analytique "non target-screening", dont l'utilisation paraît prometteuse mais nécessite au préalable une analyse critique des limites et avantages et une harmonisation de son utilisation. Ces actions constituent un travail préparatoire et nécessaire au niveau des États Membres en vue de la révision de la Directive-Cadre sur l'Eau prévue en 2019. Dans cette même optique, 2016 a constitué une année charnière pour la définition et la mise en place d'actions complémentaires au socle AQUAREF qui vont se dérouler principalement en 2017 et 2018. Ces actions s'apparentent à des études de démonstration et portent sur la surveillance prospective en prenant en compte à la fois l'évaluation de la pertinence des échantillonneurs intégratifs passifs pour la surveillance des milieux aquatiques et l'application de nouveaux outils, notamment analytiques.

• Enfin, AQUAREF a apporté son appui à la Direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB) pour la mise en œuvre, au niveau national, de la surveillance de la liste de vigilance européenne.

Cette liste regroupe dix-sept substances à rechercher, dès 2016, par tous les états membres dans les eaux de surface continentales. Pour l'analyse des onze composés, regroupant des composés phytosanitaires (dont des néonicotinoïdes) et des résidus de médicaments (dont macrolides et anti-inflammatoire), deux méthodes sont mises en œuvre successivement. Elles sont basées sur l'extraction des échantillons d'eau par solvant (extraction liquide/liquide) afin de prendre en compte la matrice eau dans sa totalité (phase dissoute et phase particulaire), conformément aux exigences de la Directive-Cadre sur l'Eau. L'identification et la quantification sont ensuite réalisées par chromatographie en phase liquide avec détection par spectrométrie de masse en mode tandem (LC/MSMS). Les performances en termes de limite de quantification et d'incertitude de mesure ont été atteintes. Ces méthodes ont été appliquées à des eaux de surface prélevées dans 26 sites nationaux, au printemps et à l'automne 2016.

AUTRES CADRES

Des actions sont également menées hors du cadre d'AQUAREF, notamment en concertation avec la DGPR. Ainsi, le BRGM anime un groupe de travail sur l'harmonisation des pratiques des laboratoires d'analyses dans un contexte de sites et sols pollués. L'objectif est d'améliorer la comparabilité et la fiabilité des résultats d'analyses des sols, des gaz du sol et des eaux. Cette action, menée avec l'ensemble des acteurs du domaine, a permis de proposer des performances analytiques à atteindre ainsi que des protocoles à respecter pour chaque composé à rechercher et de préciser les responsabilités entre bureaux d'études et laboratoires vis-à-vis des analyses afin de fluidifier les échanges et favoriser le dialogue.

VALORISATIONS RÉALISÉES

AQUAREF, 2016.
Note de position AQUAREF. Fraction à analyser pour le support "Eau" dans le cadre de la surveillance des polluants organiques en contexte DCE.

Aubert N. et Amalric L., 2016.
Analyse des gaz du sol, de l'air intérieur et extérieur en contexte sites et sols pollués - Synthèse des réunions du Groupe de Travail sur les Laboratoires. *Rapport final BRGM/RP-65745-FR.*

Bristeau S., Baran N., 2016.
Besoins analytiques sur les métabolites de pesticides : liste des substances issues des dossiers d'homologation et capacités actuelles des laboratoires – phase 2. *Rapport AQUAREF-rapport final BRGM/RP-66309-FR.*

Bristeau S., 2016.
Synthèse bibliographique pour la mise au point de l'analyse de 6 composés dans les eaux souterraines (béflubutamide, n,n-dimethyl-n'-p-tolylsulphamide, sotalol, norfloxacine, hydrazide maléïque et n-butyl benzène sulfonamide). *Rapport final. BRGM/RP- 66549-FR, p.27, ill.14.*

Moreau P., Ghestem J.P., Lepot B., Yari A., 2016.
Risques de contamination des échantillons lors des opérations d'échantillonnage : synthèse opérationnelle. *Rapport AQUAREF 2016 – 8 p.*

Moreau P., Ghestem J.P., 2016.
Étude de la stabilité dans des eaux de surface de 11 substances pertinentes à surveiller *Rapport AQUAREF 2016 – BRGM/RP- 66632 –FR.*

Togola, A., Ghestem J.P., 2017.
Participation à la surveillance pour la liste de vigilance. Rapport intermédiaire Année 1. *Rapport BRGM/RP-66556-FR.*

AUSCULTATION PHYSIQUE DU PROCHE SOUS-SOL - GÉOPHYSIQUE ET TÉLÉDÉTECTION

Ce programme vise à développer des outils et des méthodes de télédétection et de géophysique pour la caractérisation et le suivi des conditions du sol et du sous-sol ainsi que de ses composantes (organisation géologique ou anthropique, rhéologie, comportement, phénoménologie...). Les résultats de ces développements contribuent régulièrement aux réponses apportées par les études d'appui aux politiques publiques.

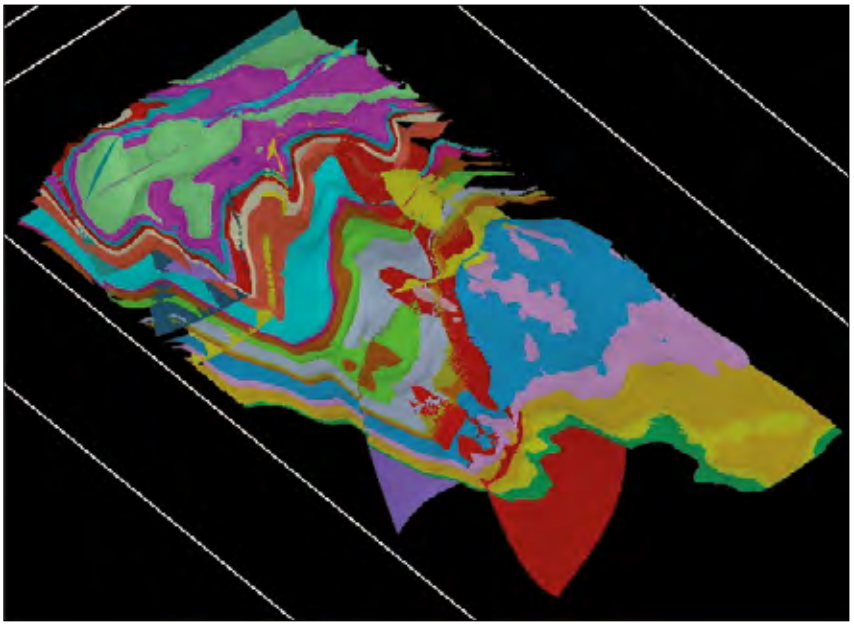


Fig.71 - Vue en perspective depuis le sud-ouest du modèle géologique 3D de la pointe de Givet, réalisé à partir de l'ensemble des données disponibles au 30/11/2013. Les couleurs correspondent au toit des 19 unités géologiques représentées dans le geomodeller et aux failles modélisées.

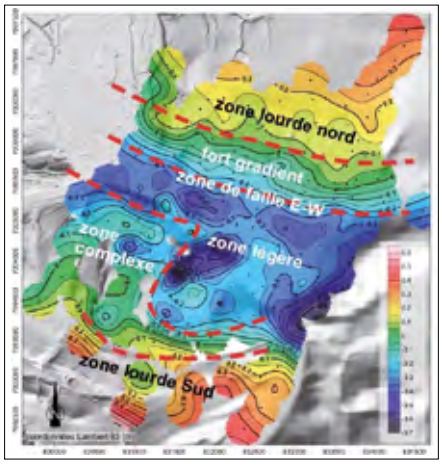
La caractérisation de la subsurface d'un point de vue à la fois mécanique et structurel constitue un véritable challenge parmi les défis de l'ingénierie environnementale et du génie civil. Les matériaux qui constituent le sous-sol sont individuellement caractérisés par des propriétés physiques et chimiques de leurs fractions solide et liquide. Ces propriétés peuvent être évaluées de manière indépendante par des méthodes géophysiques, chimiques et hydrologiques. En revanche, certaines caractéristiques, telles que la fracturation, la porosité ou la structuration, influencent simultanément deux ou plusieurs propriétés physiques ou chimiques. L'inversion jointe exploite ces caractéristiques communes ainsi que les données géophysiques, géochimiques et hydrologiques pour déterminer un modèle du sous-sol.

APPROCHE GÉOPHYSIQUE MULTI-MÉTHODES POUR LA CARACTÉRISATION GÉOMÉTRIQUE D'AQUIFÈRE PROFOND

Dans le cadre du projet de reconnaissance des potentialités aquifères profondes (300 - 1 000 m) du secteur de Givet (Ardennes), mené en partenariat avec la Communauté de communes Ardennes-Rive-de-Meuse (CCARM), le BRGM est intervenu pour la réalisation d'acquisitions géophysiques multi-méthodes visant à fournir des compléments d'information sur les propriétés physiques des terrains, susceptibles d'améliorer le modèle géologique 3D existant de la région ***(Fig.71)***.

Plus précisément, il s'agissait de préciser le toit des calcaires du Givetien (karstifiés et connus comme aquifère en Belgique). Ces calcaires s'enfoncent vers le nord dans la dépression de la Famenne, sous la ville de Givet à plusieurs centaines de mètres de profondeur et viennent buter sur une importante faille régionale orientée ESE-ONO. L'objectif final du projet était de pouvoir recouper cette formation par forage dans sa position la plus profonde et avant que celle-ci ne rencontre la faille majeure, afin d'en extraire et exploiter une eau minéralisée ou potentiellement réchauffée par le gradient géothermique.

Au vu de la complexité géologique et structurale de la région de Givet, ainsi que de la similitude des lithologies, il a paru nécessaire de proposer plusieurs techniques d'investigations géophysiques afin de déterminer le plus précisément



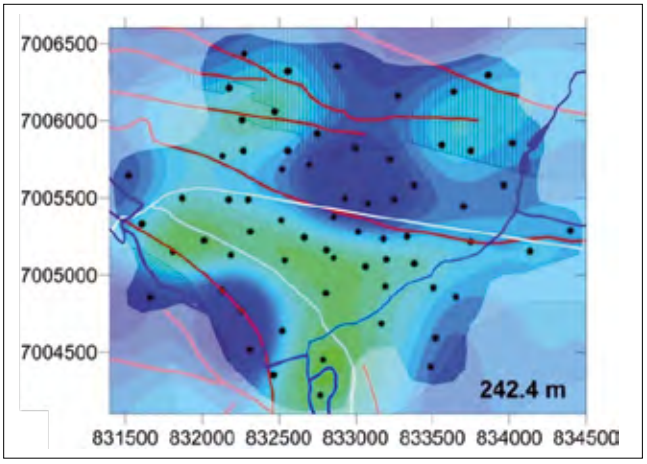


***Fig.72** - À gauche : anomalie résiduelle gravimétrique sur le secteur de Givet. À droite : résistivité électrique à 240 m de profondeur, extraite du modèle 3D de résistivité*

possible le milieu (composante "morphologie" du réservoir) mais également d'apporter des informations quant à la présence éventuelle de fluides (composante "propriétés" du réservoir). Ainsi, les trois propriétés classiques des terrains – vitesse des ondes acoustiques, densité et résistivité électrique – ont été investiguées au travers de quatre techniques : sismique réflexion, gravimétrie, électromagnétisme à source contrôlée (CSEM) et tomographie électrique.

Un profil sismique ainsi qu'un profil électrique ont été acquis alors que la gravimétrie ainsi que la CSEM ont fait l'objet d'une couverture spatiale importante afin d'"échantillonner" au mieux le signal géophysique de part et d'autre de la zone de faille ***(Fig.72)***.

Malgré l'absence de calage précis, tel que des diagraphies de forages par exemple, il a toutefois été possible d'apparenter des structures de densité ou de résistivité avec des formations ou des ensembles géologiques reconnus en surface. Le profil sismique reflète cependant l'extrême complexité des terrains replissés. La présence de terrains superficiels très "rapides" du fait de leur faible dégradation, reconnus en phase préliminaire a, qui plus est, restreint la pénétration des ondes à quelques centaines de mètres. L'intégration de l'ensemble de ces informations a permis de réviser le modèle géologique prédictif, bâti à l'origine uniquement avec les données de surface, et de préciser notamment la position de différentes interfaces géologiques d'intérêt. La figure 73 synthétise l'ensemble des connaissances acquises sur le secteur de Givet. La réalisation de forage(s) permettra de confronter ce nouveau modèle à la réalité et, si nécessaire, lui apporter les rectifications nécessaires.

Répondant à une problématique complexe, cette étude s'est réalisée de manière exemplaire :

1/ La mise en œuvre de techniques géophysiques complémentaires, permettant de conjuguer les interprétations, permet de parvenir à une compréhension plus fine du milieu souterrain que ne l'aurait permis l'utilisation d'une technique unique ;

2/ La géophysique est parfaitement adaptée à des investigations supérieures à 250 m de profondeur ;

3/ L'interprétation réalisée par une équipe de géologues et géophysiciens garantit une appréhension de la géométrie des structures la plus réaliste possible en optimisant la prise en compte de l'ensemble des données.

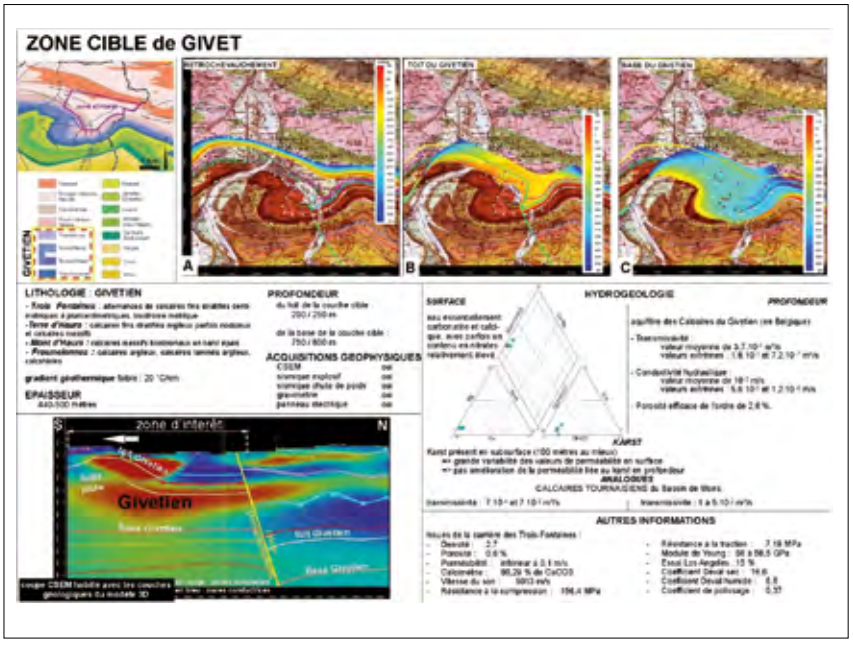


***Fig.73** - Synthèse des connaissances sur le secteur de Givet*

TRACEURS ISOTOPIQUES ET DATATIONS GÉOCHRONOLOGIQUES

Ce programme vise à concevoir, élaborer, valider et appliquer des outils de traçage isotopiques et de datation pour la gestion des ressources du sol, du sous-sol et de l'environnement. Les différents outils isotopiques peuvent être déployés pour améliorer la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes, la caractérisation des polluants ou le traçage des pollutions ou encore la connaissance des ressources minérales.

En 2016, en collaboration avec le Syndicat Intercommunal d'Eau Potable du Santerre (Somme), une étude a été menée afin de mieux estimer les contributions respectives des nitrates d'origines agricole et non agricole sur des captages cibles afin de mieux définir le type de mesures à mettre en place pour réduire les apports azotés à la nappe. L'usage d'outils isotopiques combinés a été retenu de manière à mieux contraindre l'origine de la pollution azotée des eaux souterraines au niveau de captages utilisés pour l'alimentation en eau potable. Les résultats de l'étude ont été publiés fin 2016.

VALORISATION RÉALISÉE

Kloppmann W., Crastes de Paulet F., Parmentier M., Gourcy L., 2017. Projet ISOCAIX : Diagnostic isotopique et géochimique de la pollution azotée et datation des eaux des captages CAIX 1, Somme. *Rapport final BRGM/RP-66637-FR.*

MINÉRALOGIE, TEXTUROLOGIE, PHYSICO-CHIMIE DES INTERFACES

Ce programme vise à développer une expertise dans le domaine de la minéralogie, de l'étude des structures cristallographiques, des propriétés physico-chimiques et texturales des matrices solides. Il concerne les roches, les minerais, les matériaux manufacturés et les déchets, les sols et les sédiments. Les outils et méthodes développés couvrent l'identification et la quantification des phases constitutives, l'étude de leur cristallinité et de leur organisation, la mesure de leurs propriétés physico-chimiques et texturales (potentiel électrocinétique, surface spécifique, porosité). L'exploitation et la synthèse de ces données aboutiront à la détermination des conditions de genèse, la quantification de la réactivité au sein des systèmes géologiques et environnementaux ou à l'exploitation de propriétés permettant le développement d'écotechnologies (procédés de traitement, capteurs...).

En 2015, à la demande du Ministère chargé de l'Environnement, le BRGM a validé la faisabilité d'un protocole visant à identifier la présence éventuelle de fibres amiantifères libérables au sein d'un matériau en simulant artificiellement les effets de frottements et d'usures subis par un matériau au cours des processus d'extraction, de traitement ou d'érosion. Des déclinaisons de ce type de protocole sont envisageables notamment pour les matériaux alluvionnaires (sables et graviers).

CENTRE TECHNIQUE GÉOTHERMIE ET BÂTIMENT

Le programme "Centre Technique Géothermie et Bâtiment" a été construit sur le principe d'une structure de recherche technologique, intervenant en support de la filière de la géothermie et du bâtiment. Ce programme est organisé selon les trois missions suivantes :
1. la veille thématique, l'information, la communication ;
2. l'animation et la structuration de la filière, la formation et la normalisation ;
3. la veille et le transfert technologique, la recherche et développement.

Pour remplir ses deux premières missions, ce programme participe à la structuration de la filière, à la qualité des opérations et à la diffusion des connaissances sur tous les types de géothermie (très basse énergie, basse énergie, moyenne énergie et haute énergie). Les aspects de transfert technologique et de R&D se focalisent quant à eux sur l'intégration de la connaissance du sous-sol à des fins

***Fig.74** - Page d'accueil du site internet www.geothermie-perspectives.fr*
© BRGM

de développement de la géothermie très basse énergie. Ils comportent aussi des travaux de recherche relatifs aux échangeurs fermés, à l'échelle du composant et du système énergétique complet, à des fins de production et de stockage de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire. Les actions d'appui aux politiques publiques intégrées à la troisième mission consistent principalement à améliorer la prise en compte de la géothermie dans le développement territorial, à toutes les échelles.

LA VEILLE THÉMATIQUE, L'INFORMATION, LA COMMUNICATION

Le site internet français de référence dédié à la géothermie, www.geothermie-perspectives.fr, a connu en 2016 une poursuite de sa rénovation : réorganisation de la rubrique "Ma géothermie" afin de rendre visible les dispositifs mis en place pour les porteurs de projets, mise à jour des informations de la rubrique "Géothermie 360", amélioration de l'ergonomie d'utilisation de l'espace cartographique, restructuration de nombreuses rubriques. Fin 2016, le site internet proposait plus de 200 articles ***(Fig.74)***.

L'activité de veille thématique s'est poursuivie par la collecte, la validation et la diffusion d'informations de nature technique, économique, sociologique, politique et environnementale concernant la géothermie, sur le plan national mais également européen et mondial.

L'objectif de cette veille est de mettre à disposition de l'ensemble des acteurs de la filière (dont les maitres d'œuvre et d'ouvrage, les professionnels, les collectivités et le grand public), des informations et données vérifiées et homogènes sur la géothermie et ses différentes applications.

En 2016, la surveillance de près de 500 pages web, 60 lettres d'information électroniques et 4 revues périodiques a permis d'envoyer 29 alertes à 600 destinataires. De plus, 41 lettres d'information (toutes thématiques confondues) ont été adressées aux abonnés et publiées sur le site www.geothermie-perspectives.fr.

En parallèle, la veille spécifique de la filière géothermie à l'export vise à mettre à disposition du cluster français GEODEEP des informations et données validées et pertinentes sur la géothermie productrice d'électricité et de chaleur directe à l'international, afin d'accompagner ses actions, notamment pour exporter son savoir-faire. Douze alertes ont ainsi été diffusées en 2016, dans l'attente d'un nouveau ciblage des besoins par les professionnels début 2017.

Aux côtés de l'ADEME et de l'Association française des Professionnels de la Géothermie (AFPG), le BRGM a poursuivi en 2016 son implication dans les Journées régionales de sensibilisation à la géothermie, au niveau de l'organisation et de la participation. En 2016, ces journées se sont tenues au Bourget-du-Lac (région Auvergne-Rhône-Alpes) en mars et à Pessac (région Nouvelle-Aquitaine) en juin. De 2011 à 2016, ce sont ainsi au total 20 journées de sensibilisation qui ont été organisées en régions.

En partenariat avec l'ADEME, et dans le cadre du diplôme de Master 2 "Expertises des territoires, concertation et communication en environnement" de l'université de Paris VIII, le BRGM a élaboré en 2016 un guide de bonnes pratiques pour l'intégration environnementale et sociétale d'un projet industriel de géothermie profonde.

Le bilan réalisé fin 2015 à l'issue du programme Interreg IV - Géothermie Caraïbe 2, dont la finalité était de préparer les conditions nécessaires pour faire émerger, dans l'Arc antillais, des projets de production d'électricité d'origine géothermique, insistait en particulier sur l'importante nécessité, durant toutes les phases d'un projet, de conduire en parallèle études environnementales et études sociétales, de mener une concertation avec les parties prenantes et d'apporter aux populations une information régulière. Ce guide a été élaboré de manière à répondre à ce besoin.

Il recense des propositions basées sur les études déjà réalisées en géothermie, en sociologie et en géographie, mais également sur des travaux de terrain. Son objectif est de faire prendre

conscience aux porteurs de projets de l'importance de comprendre parfaitement un territoire, son histoire et les éventuels préjugés et attentes des populations envers l'exploitation de la géothermie pour être en mesure de développer une activité parfaitement consentie. Il permet également de donner des clés aux parties prenantes afin de mieux comprendre et intégrer les spécificités techniques et scientifiques d'un projet de géothermie. Outre la partie "guide", qui contient un certain nombre de recommandations et identifie des points de vigilance, plusieurs fiches pratiques pour un dialogue territorial ont également été établies.

Des actions ponctuelles d'information scientifique et technique sur les différentes formes de géothermie ont également été réalisées par le BRGM en 2016, à la demande de collectivités territoriales, en particulier en région Centre-Val de Loire (Orléans, Châteauroux et Issoudun) et en Picardie (ville et agglomération de Compiègne).

L'ANIMATION ET LA STRUCTURATION DE LA FILIÈRE, LA FORMATION ET LA NORMALISATION

En 2016, le BRGM a poursuivi sa participation en tant qu'expert à différentes actions nationales en lien avec les organismes engagés dans le développement de la géothermie en France : Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG), Association Française des Pompes à Chaleur (AFPAC), Commission géothermie du Syndicat des Énergies Renouvelables (SER), Syndicat des Foreurs d'Eau et de Géothermie (SFEG), organisme de qualification des énergies renouvelables (QUALIT'ENR), organisme de qualification et de certification des entreprises de construction (QUALIBAT) et Association Française de Normalisation (AFNOR). À ce titre, il a par exemple contribué à la rédaction de la feuille de route 2017 de l'AFPG et à celle du livre blanc 2017 du SER pour les volets relatifs à la géothermie.

Avec l'ADEME, le BRGM a mis en place en juin 2015 un animateur régional en Aquitaine pour dynamiser la filière géothermique, dont l'action s'élargit maintenant à l'échelle de la grande région Nouvelle-Aquitaine. Cette mission apporte un accompagnement technique aux relais territoriaux et aux porteurs de projets potentiels, avec pour objectifs de structurer efficacement la filière sur le territoire et de favoriser l'émergence de projets viables économiquement à court terme (2 à 3 ans). En 2016, la mission d'assistance technique a principalement consisté à informer les maîtres d'ouvrage potentiels et leurs bureaux d'études sur les différentes filières de la géothermie dédiées à la fourniture d'énergie thermique (chaleur et rafraîchissement). Elle a également donné lieu à la rédaction de notes d'opportunité pour des projets de chauffage géothermique, à l'accompagnement administratif et technique pour le montage de projets, à l'analyse critique de dossiers avant transmission à l'ADEME pour instruction et au conseil et à l'assistance aux maîtres d'ouvrage pour la rédaction de cahiers des charges et le suivi des opérations.

Ces diverses actions se sont concrétisées par le lancement de plusieurs opérations géothermiques très basse énergie en 2016.

En ce qui concerne la normalisation, le BRGM a conduit deux projets en 2016.

Le projet relatif à la normalisation des coulis géothermiques a eu pour objectif de compléter le catalogue normatif pour mieux encadrer la profession en mettant à disposition des référentiels techniques et juridiques à jour. En collaboration avec AFNOR Normalisation, une commission spécifique présidée par le BRGM a préparé le projet de norme sur le coulis géothermique (PR NF X10-950). L'année 2016 a été consacrée à des essais croisés inter-laboratoires, en vue de valider l'ensemble des protocoles de mesure et des essais de caractérisation du coulis géothermique. À la fin de l'année 2016, le projet de norme a été pré-finalisé, en vue d'une homologation en 2017.

Le projet de norme européenne sur les forages d'eau et de géothermie avait pour ambition de fournir un référentiel permettant de réaliser les forages en respectant la protection des eaux souterraines en termes de qualité et de quantité, et de protection de l'environnement, et de soutenir un secteur en croissance en élaborant des spécifications pour toutes les parties impliquées dans l'ensemble de la chaîne de valeur.

En 2016, le protocole de normalisation s'est mis en place concrètement à travers l'établissement d'un cahier des charges et d'un planning de normalisation ainsi que la création et le lancement du comité technique TC 451.

En ce qui concerne la qualification des entreprises de forage, le BRGM a poursuivi en 2016 son appui technique à QUALIT'ENR pour la mise en place et le suivi du nouveau label QUALIFORAGE RGE (Reconnu Garant de l'Environnement), à travers différentes actions :

- participation aux instances de qualification et suivi des réclamations ;
- participation à une commission sur le forage, pour la mise à jour du QCM qui permet de sanctionner la formation foreurs RGE ;
- participation à un groupe de travail sur les critères de qualification, en particulier celui concernant la quantité de ciment acheté par les foreurs ;
- validation de la grille d'audit pour les contrôles de chantier ;
- réalisation de trois sessions de la formation "foreurs RGE", indissociable du processus de qualification.

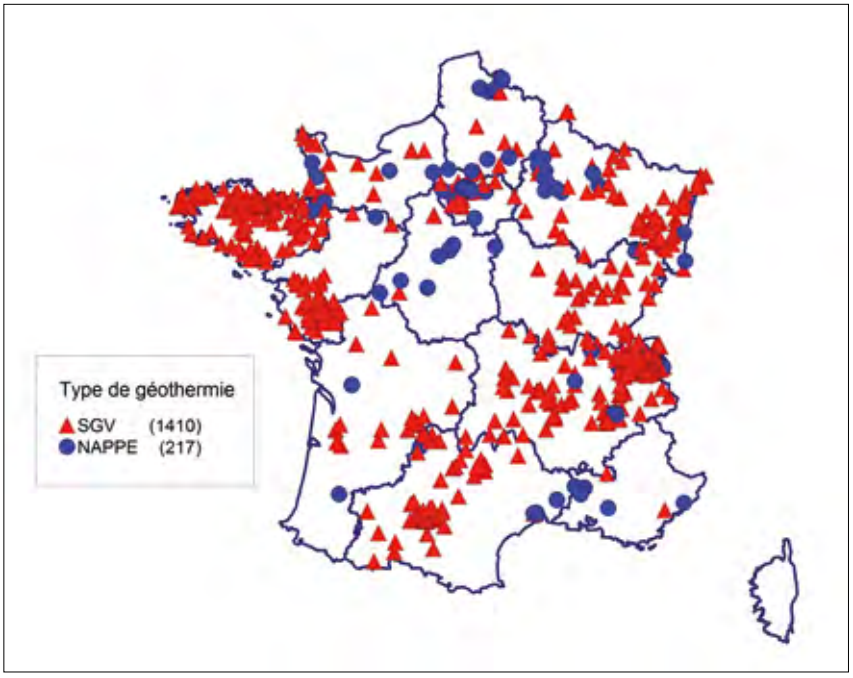


Fig.75 - Bilan des ouvrages déclarés au titre de la géothermie de minime importance en septembre 2016.
© BRGM

LA VEILLE ET LE TRANSFERT TECHNOLOGIQUE, LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT

L'application de la nouvelle réglementation sur la géothermie très basse énergie, dite "géothermie de minime importance" (GMI), entrée en vigueur en janvier 2015, a donné lieu à diverses actions du BRGM en 2016. Outre l'amélioration et la gestion de l'outil de télédéclaration hébergé sur le site www.geothermie-perspectives.fr, le BRGM a fourni un appui d'expert thématique à l'administration. Cet appui a consisté notamment à réaliser un bilan et une analyse des installations et des ouvrages déclarés ***(Fig.75)***, et à apporter une réponse "métier" aux nombreuses questions posées sur la mise en œuvre de cette réglementation.

Dans la continuité du projet de recherche FUI Microgéo, le BRGM a engagé en 2016 une opération de valorisation de cet outil de dimensionnement pour les échangeurs horizontaux, compacts et les sondes géothermiques verticales. Son objectif est de proposer aux professionnels un outil d'accès libre et une formation associée gratuite dans un contexte de maison individuelle.

En 2016, les actions suivantes ont été réalisées dans le cadre de cette opération :

- ajout de fonctionnalités permettant d'élargir l'usage de l'outil à tous types de pompes à chaleur ;
- amélioration de l'ergonomie de l'outil, au niveau de l'affichage des résultats notamment ;
- création de profils utilisateurs individuels pour les premiers installateurs formés ;
- mise en production de l'outil sur le site de la plateforme de géothermie du BRGM (pour les utilisateurs inscrits) : http://plateforme-geothermie.brgm.fr/ ;
- mise au point d'un support de formation et d'aide à l'utilisation de l'outil ;
- réalisation d'une première session de formation en novembre 2016.

Enfin, dans le cadre de la convention nationale ADEME-BRGM, deux nouveaux projets ont été initiés à la fin de l'année 2016 :

- Impact de la géothermie très basse énergie assistée par pompe à chaleur (PAC) sur l'emploi en France en 2016, et perspectives de son développement à l'horizon 2020 : ce projet consiste notamment en une analyse portant sur une typologie d'opérations calée sur les systèmes d'aides de l'ADEME et de l'État au regard des puissances en jeu (sondes géothermiques pour le particulier, champ de sondes, opérations sur nappe jusqu'à 500 kW, opérations avec PAC sur nappe ou sur sondes pour les puissances hors conditions de la "géothermie de minime importance") ;
- Potentiel des sondes géothermiques verticales : ce projet a pour objectif de développer une méthode de calcul de la valeur de la conductivité moyenne pour 3 profondeurs, 50, 100 et 200 m. Ce calcul s'appuie sur les données de la base de données BDLISA qui fournit, en tous points du territoire, la succession de niveaux géologiques ainsi que, pour la plupart des régions, la géométrie des formations géologiques.

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante :
www.brgm.fr/app2016

ANALYSE DES GAZ DU SOL DANS LE CONTEXTE DES "SITES ET SOLS POLLUÉS"

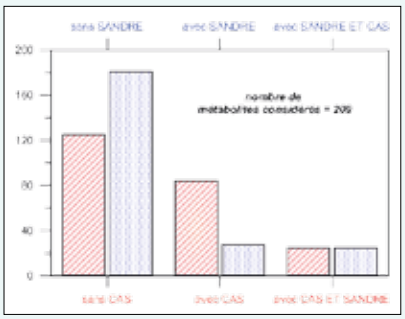
Le BRGM appuie le Ministère chargé de l'Environnement, dans le domaine des sites et sols pollués (SSP), dans le cadre d'une action intitulée "Animation d'un GT Laboratoire SSP". Ce Groupe de travail permet de réunir les acteurs impliqués dans les activités relatives à la caractérisation des sites et sols potentiellement pollués et de débattre sur différents aspects techniques tels que le choix des supports de prélèvement dédiés à l'échantillonnage des gaz du sol et les performances exigibles par les laboratoires d'analyse.

Pour l'analyse du sol (ainsi que de l'air intérieur et de l'air extérieur), un tableau recensant, par polluant, les supports de prélèvement les plus appropriés avec des limites de quantification minimum attendues a pu être établi et validé par le groupe de travail. Ces conclusions ont vocation à servir de base aux futures exigences analytiques demandées aux laboratoires effectuant des prestations dans le contexte des sites et sols pollués.

Prélèvements de gaz du sol par barbotage (haut) et par adsorption sur charbon actif (bas).
© BRGM

CAPACITÉS ANALYTIQUES DES LABORATOIRES POUR LE SUIVI DES MÉTABOLITES DE PRODUITS PHYTOSANITAIRES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Bien que les métabolites soient identifiés et considérés au stade de la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, le constat a récemment été fait que certains restent aujourd'hui absents des programmes de surveillance de la qualité des eaux, notamment des eaux souterraines. Pour identifier les raisons de cette lacune et, le cas échéant, être en mesure de développer des méthodes analytiques compatibles avec les exigences réglementaires, il est apparu nécessaire de dresser un bilan des capacités existantes dans les laboratoires nationaux et d'évaluer les potentialités de développement analytique.



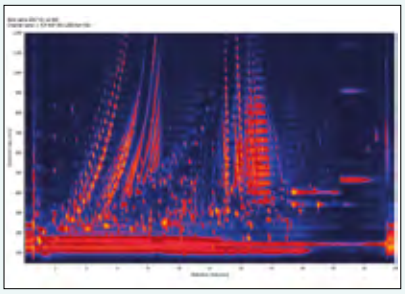
Répartition des 209 métabolites considérés selon qu'ils aient, ou non, un code CAS (en rouge) et/ou un code substance du SANDRE (en bleu).
© BRGM

Ce travail, porté par le BRGM, s'inscrit dans le cadre des missions d'AQUAREF autour de l'axe portant sur l'"Amélioration des connaissances sur les substances émergentes".

NOUVELLES APPROCHES ANALYTIQUES POUR LA SURVEILLANCE DES EAUX : HARMONISATION DES PRATIQUES POUR LE SCREENING

L'évolution des besoins en matière de surveillance est constante avec, notamment, la prise en considération de nouvelles molécules dites émergentes et la multiplicité des familles de contaminants présents dans les eaux. Aussi, il est crucial de développer et valider de nouveaux outils pour permettre, dans le futur, d'identifier et d'anticiper les risques potentiels associés aux contaminants chimiques.

Dans le cadre de ses missions d'appui technique, le BRGM, par le biais de son implication dans AQUAREF, travaille sur l'intégration de nouvelles méthodologies analytiques et la faisabilité opérationnelle de leur mise en œuvre dans un objectif de surveillance. La spectrométrie de masse haute résolution (LC-HRMS) est ainsi une technique prometteuse mais qui demande un certain nombre d'harmonisations dans sa mise en œuvre pour une application opérationnelle dans un contexte environnemental.



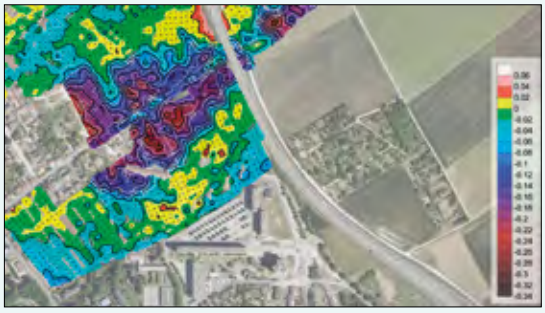
Chromatogramme 3D obtenu par LC-HRMS.

RECHERCHE DE CAVITÉS SOUTERRAINES EN MILIEU URBAIN : APPLICATION DE LA MICROGRAVIMÉTRIE À REIMS

La ville de Reims, située sur le plateau de Champagne, est entièrement bâtie sur un substrat crayeux. Sa position géographique et son contexte historique en ont fait une ville importante depuis l'époque romaine, ce qui lui confère une richesse historique remarquable. À partir du moyen-âge, la ville devient un carrefour commercial important. Enfin, elle est fortement marquée par l'impact des deux guerres mondiales : destructions, travaux militaires... Ces contextes géographique, géologique et historique ont amené les hommes à creuser des cavités de tout type et pour de nombreux usages dans la craie sous-jacente.

L'extension et la densification urbaine depuis le XX^{ème} siècle ont régulièrement amplifié les enjeux sur des zones où ont été exploitées les crayères jusqu'au XIX^{ème} siècle. Les édifices souterrains au droit des zones urbanisées sont par ailleurs fragilisés par l'altération de la craie induite par des modifications des écoulements d'eau souterrains. La voirie de l'agglomération s'est vue impactée ces dernières années par de tels effondrements.

Consciente du risque lié aux effondrements, la collectivité a demandé au BRGM d'approfondir la connaissance des cavités souterraines dans les zones urbanisées, en particulier au niveau de la voirie, de diagnostiquer les risques induits et de proposer des solutions de mise en sécurité.

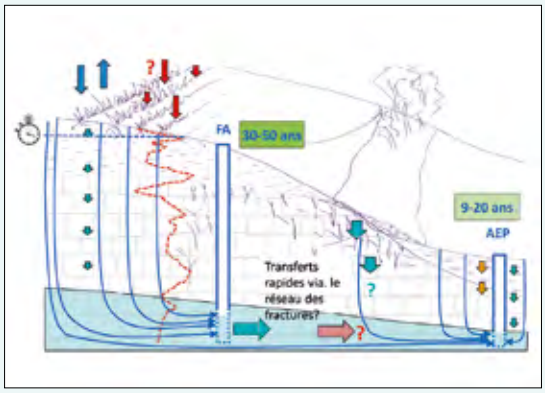


Exemple de carte d'anomalie microgravimétrique en milieu urbain (réseaux de crayères à Châlons-en-Champagne).
© BRGM

SOURCES, MÉCANISMES ET VITESSES DE TRANSFERT DE LA POLLUTION AZOTÉE DANS L'AIRE DU CHAMP CAPTANT DE CAIX 1 (SOMME)

Le champ captant de Caix 1 (département de la Somme) comporte quatre forages en exploitation, fournissant deux millions de m^3 d'eau potable par an. Ce champ captant est géré par le Syndicat Intercommunal d'Eau Potable (SIEP) du Santerre et fait actuellement l'objet d'une opération de reconquête de la qualité de l'eau (ORQUE) suite à des dépassements du seuil de potabilité pour les nitrates et à leur désignation comme captages "prioritaires" dans le cadre du Grenelle de l'environnement.

Le SIEP a sollicité le BRGM afin de mieux apprécier les différentes origines des nitrates (agricoles et non agricoles), ainsi que les cheminements et la chronologie de la pollution dans l'aire d'alimentation du champ captant. La méthodologie mise en œuvre combine des traceurs chimiques ainsi que des isotopes environnementaux avec des indicateurs du temps de résidence de l'eau. En parallèle, une étude hydrodynamique de transport réactif de l'azote, NITRAEAP, focalisée sur le transport des nitrates, a été menée sur le champ captant avoisinant Caix 3. Les résultats permettent d'éclairer les gestionnaires sur la pertinence des mesures à mettre en place prioritairement pour réduire les apports azotés à la nappe.



Modèle conceptuel du transfert de l'eau (en bleu) et des nitrates (en rouge) de l'aire du champ captant de Caix avec ordre de grandeur du temps de transfert de l'eau (en vert), vers les forages agricoles (FA) et les puits d'alimentation en eau potable. Ce modèle a été produit conjointement par les projets ISOCAIX (diagnostic isotopique et datation des eaux) et NITRAEAP (étude hydrodynamique du transport des nitrates).

PROJETS REMARQUABLES

Retrouvez les projets remarquables dans leur intégralité à l'adresse suivante : **www.brgm.fr/app2016**

LES APPORTS DE LA SOCIOLOGIE AUX PROJETS DE GÉOTHERMIE PROFONDE : CAS D'ÉTUDES DE LA VALLÉE DE ROSEAU, BOUILLANTE ET VIEUX-HABITANTS

Différentes méthodologies et recommandations permettant de faciliter l'appropriation par les populations de projets d'énergie renouvelable existent. Cependant, elles ne visent pas encore les projets de géothermie, ceux-ci restant encore trop rares.

Le BRGM a cherché à y remédier à travers une étude, menée suite au projet Interreg "Géothermie Caraïbe 2", qui intègre des recommandations et identifie des points de vigilance, en se basant sur les travaux déjà réalisées en géothermie et en sociologie, et également via une approche mise en œuvre sur le terrain en Guadeloupe et Dominique. Son objectif est de faire prendre conscience aux porteurs de projets et aux donneurs d'ordres de l'importance de comprendre parfaitement un territoire, son histoire et les éventuels préjugés et attentes des populations envers l'exploitation de la géothermie, pour être en mesure de développer une activité parfaitement consentie. Ce travail a également pour objet de donner des clés de compréhension aux parties prenantes afin de mieux appréhender les spécificités techniques et scientifiques d'un projet de géothermie profonde.

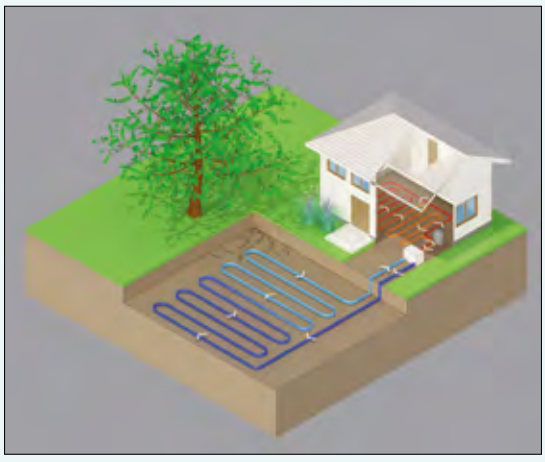
Habitation située à proximité immédiate des installations de la centrale géothermique de Bouillante.
© BRGM

DIMENSIONNER LES ÉCHANGEURS GÉOTHERMIQUES POUR LA MAISON INDIVIDUELLE : UN OUTIL À DISPOSITION DES PROFESSIONNELS DE LA FILIÈRE

Un outil de dimensionnement d'échangeurs géothermiques pour la maison individuelle a été mis au point par le BRGM.
Cet outil est accessible en ligne via un profil "Utilisateurs" à l'adresse : http://plateforme-geothermie.brgm.fr.

L'outil vise prioritairement trois publics : les installeurs, les bureaux d'études thermiques et les foreurs.

Des sessions de formations ont réalisées régulièrement afin de préciser ses conditions d'utilisation et de permettre aux utilisateurs de bénéficier d'un accompagnement pour sa prise en main.

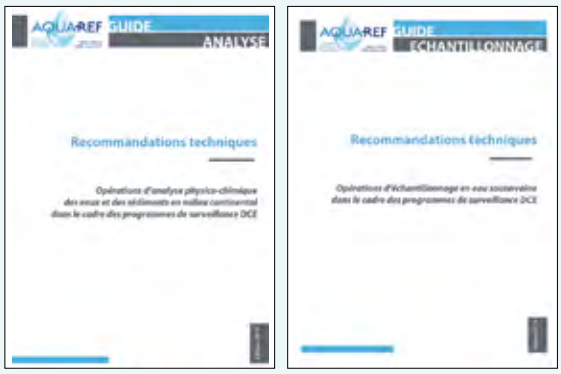


Installation de pompe à chaleur géothermique sur échangeur horizontal en contexte de maison individuelle.

DES DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE POUR FIABILISER LES DONNÉES DES PROGRAMMES DE SURVEILLANCE DE LA DIRECTIVE-CADRE EUROPÉENNE SUR L'EAU

La fiabilité des données des programmes de surveillance mis en place au titre de la Directive-Cadre européenne sur l'Eau est un enjeu majeur compte tenu, notamment, de l'utilisation de ces données pour l'évaluation de l'état des masses d'eau.

Dans le cadre de ses missions d'appui technique, AQUAREF publie une série de guides relatifs aux opérations d'échantillonnage et d'analyse chimique avec pour objectif de garantir la conformité des données nationales aux Directives européennes, l'harmonisation des prescriptions techniques et l'amélioration de la qualité des données. Au sein de cette action, le BRGM est plus particulièrement en charge de la rédaction du guide relatif à l'échantillonnage en eau souterraine et contribue largement au guide sur les opérations d'analyse, grâce à son expertise en termes de métrologie environnementale.



Documents de référence pour fiabiliser les données des programmes de surveillance de la DCE sur l'Eau.
© BRGM

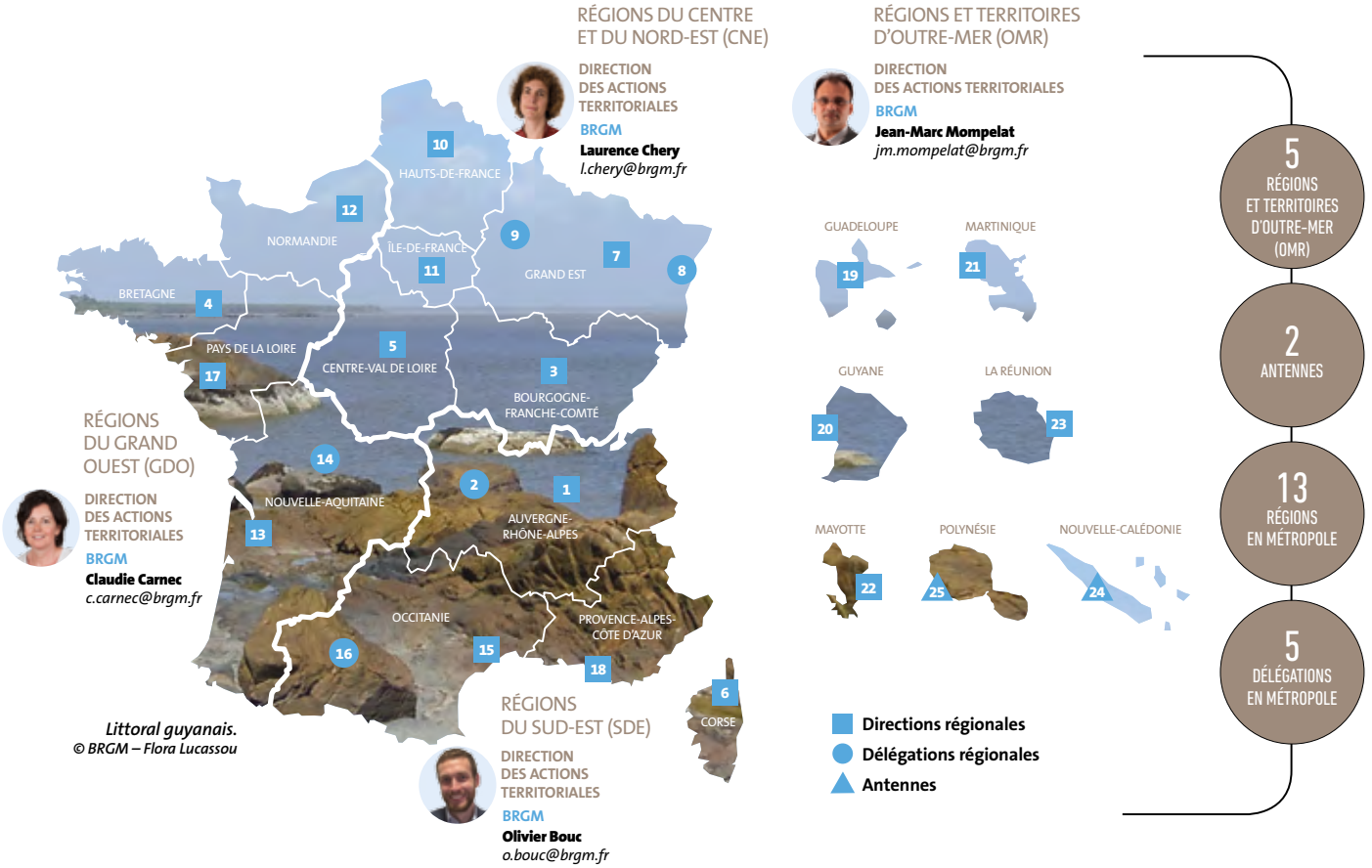
OPÉRATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE D'EAU SOUTERRAINE : RISQUES DE CONTAMINATION DES ÉCHANTILLONS

Les programmes nationaux de surveillance des masses d'eau s'intéressent de plus en plus à des produits industriels d'utilisation courante (plastifiants, composés perfluorés,...). Les opérations d'échantillonnage réalisées dans le cadre de ces programmes impliquent souvent un contact entre l'échantillon et des matériels intermédiaires (seaux, tuyaux de pompage,...). Or ce contact peut être source de contamination et par conséquent impacter la fiabilité de la mesure. Pour d'autres substances, les opérateurs eux-mêmes peuvent être concernés via l'utilisation de produits de soin cosmétiques ou pharmaceutiques. Ces risques de contamination sont amplifiés par les très faibles niveaux de concentration recherchés.

Depuis plusieurs années, AQUAREF, laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques, réalise des études visant à identifier et quantifier les risques de contamination lors des opérations d'échantillonnage. Les travaux réalisés par le BRGM ont plus particulièrement porté sur des substances d'origine "industrielle" dans le cas d'échantillonnages d'eau souterraine.

Échantillonnage d'eau souterraine.

LE BRGM EN RÉGIONS



Littoral guyanais.
© BRGM – Flora Lucassou

LES PRINCIPALES BASES DE DONNÉES ET SITES INTERNET SUR LE SOL ET LE SOUS-SOL

Le BRGM a pour vocation de découvrir, protéger et valoriser les ressources de la Terre. Ses activités de recherche et d'appui aux politiques publiques et de services, aussi bien sur le territoire français qu'à l'étranger, se concrétisent par la création et la mise à disposition de bases de données et sites Internet sur le sol et le sous-sol.

Rendez-vous sur le site :
www.brgm.fr/sites-web

DIRECTION DES ACTIONS TERRITORIALES

BRGM
Stéphane Roy
3 avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
Tél. : 02 38 64 31 88
s.roy@brgm.fr

BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

3 Direction régionale
Site de Dijon
Laurence Chery *(par intérim)*
Parc technologique
27 rue Louis de Broglie
21000 Dijon
Tél. : 03 80 72 90 40
Fax : 03 80 78 01 34
l.chery@brgm.fr

AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

1 Direction régionale
Site de Lyon
Stéphane Buschaert
151 boulevard Stalingrad
69626 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 72 82 11 50
Fax : 04 72 82 11 51
s.buschaert@brgm.fr

2 Délégation régionale
Site de Clermont-Ferrand
Émilie Vanoudheusden
12 avenue des Landais
63170 Aubière
Tél. : 04 73 15 23 00
Fax : 04 73 15 23 10
e.vanoudheusden@brgm.fr

BRETAGNE

4 Direction régionale
Site de Rennes
Mélanie Bardeau
Rennes Atalante Beaulieu
2 rue de Jouanet
35700 Rennes
Tél. : 02 99 84 26 70
Fax : 02 99 84 26 79
m.bardeau@brgm.fr

CENTRE-VAL DE LOIRE

5 Direction régionale
Site d'Orléans

Alain Saada
3 avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
Tél. : 02 38 64 31 92
Fax : 02 38 64 31 94
a.saada@brgm.fr

CORSE

6 Direction régionale
Site de Bastia

Nicolas Frissant
Immeuble Agostini
Zone Industrielle de Furiani
20600 Bastia
Tél. : 04 95 58 04 33
Fax : 04 95 30 62 10
n.frissant@brgm.fr

GRAND EST

7 Direction régionale
Site de Nancy

Dominique Midot
1 avenue du Parc de Brabois
54500 Vandœuvre-lès-Nancy
Tél. : 03 83 44 81 49
Fax : 03 83 44 15 18
d.midot@brgm.fr

8 Délégation régionale
Site de Strasbourg

Kévin Samyn
Parc Activités Porte Sud
Rue Pont du Péage - Bâtiment H1
67118 Geispolsheim
Tél. : 03 88 77 48 90
Fax : 03 88 76 12 26
k.samyn@brgm.fr

9 Délégation régionale
Site de Reims

Pierre Pannet
Pôle technologique Henri Farman
12 rue Clément Ader
51100 Reims
Tél. : 03 26 84 47 70
Fax : 03 26 84 47 79
p.pannet@brgm.fr

HAUTS-DE-FRANCE

10 Direction régionale
Site de Lille

Mathilde Scamps
Arteparc Bâtiment A
2 rue des Peupliers
59810 Lesquin
Tél. : 03 20 19 15 40
Fax : 03 20 67 05 56
m.scamps@brgm.fr

ÎLE-DE-FRANCE

11 Direction régionale
Site de Paris

Éric Gomez
Tour Mirabeau
39-43 quai André Citroën
75739 Paris Cedex 15
Tél. : 01 40 58 89 17
e.gomez@brgm.fr

NORMANDIE

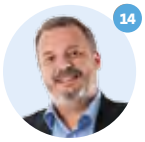
12 Direction régionale
Site de Rouen

Didier Pennequin
Parc de la Vatine
14 route d'Houppeville
76130 Mont-Saint-Aignan
Tél. : 02 35 60 12 00
Fax : 02 35 60 80 07
d.pennequin@brgm.fr

NOUVELLE-AQUITAINE

13 Direction régionale
Site de Bordeaux

Nicolas Pedron
Parc Technologique Europarc
24 Avenue Léonard de Vinci
33600 Pessac
Tél. : 05 57 26 52 70
Fax : 05 57 26 52 71
n.pedron@brgm.fr



14 Délégation régionale
Site de Poitiers

Jean-Christophe Audru
5 rue de la Goélette
86280 Saint-Benoît
Tél. : 05 49 38 15 38
Fax : 05 49 38 15 44
jc.audru@brgm.fr

OCCITANIE

15 Direction régionale
Site de Montpellier

Ariane Blum
1039 rue de Pinville
34000 Montpellier
Tél. : 04 67 15 79 80
Fax : 04 67 64 58 51
a.blum@brgm.fr

16 Délégation régionale
Site de Toulouse

Anne-Valérie Hau-Barras
Parc technologique du Canal
3 rue Marie Curie - Bâtiment
ARUBA - BP 49
31527 Ramonville-Saint-Agne
Tél. : 05 62 24 14 50
Fax : 05 62 24 14 69
av.hau-barras@brgm.fr

PAYS DE LA LOIRE

17 Direction régionale
Site de Nantes

Pierre Conil
1 rue des Saumonières
BP 92342
44323 Nantes Cedex 3
Tél. : 02 51 86 01 51
Fax : 02 51 86 01 59
p.conil@brgm.fr

PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

18 Direction régionale
Site de Marseille

Jean-Louis Lambeaux
117 avenue de Luminy - BP 168
13276 Marseille Cedex 9
Tél. : 04 91 17 74 77
Fax : 04 91 17 20 40
jl.lambeaux@brgm.fr

DROM

GUADELOUPE

19 Direction régionale

Ywenn De La Torre
Parc d'activités de Colin - La Lézarde
97170 Petit-Bourg
Tél. : 05 90 41 35 48
Fax : 05 90 94 85 82
y.delatorre@brgm.fr

GUYANE

20 Direction régionale

Laure Verneyre
Domaine de Suzini
Route de Montabo - BP 552
97333 Cayenne Cedex 2
Tél. : 05 94 30 06 24
Fax : 05 94 31 49 07
l.verneyre@brgm.fr

MARTINIQUE

21 Direction régionale

Benoît Vittecoq
Villa Bel Azur - 4 lotissement Miramar
Route Pointe des Nègres
97200 Fort-de-France
Tél. : 05 96 71 17 70
Fax : 05 96 63 21 15
b.vittecoq@brgm.fr

MAYOTTE

22 Direction régionale

Frédéric Tronel
Immeuble Jacaranda
Quartier des Hauts Vallons
BP 363 Kaweni
97600 Mamoudzou - Mayotte
Tél. : 02 69 61 28 13
Fax : 02 69 61 28 15
f.tronel@brgm.fr

LA RÉUNION

23 Direction régionale

Séverine Bès de Berc
5 rue Sainte-Anne - CS 51016
97404 Saint-Denis Cedex
Tél. : 02 62 21 22 14
Fax : 02 62 21 86 96
s.besdeberc@brgm.fr

ANTENNES

NOUVELLE-CALÉDONIE

24 Direction régionale

Vincent Mardhel
Antenne CAL - Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie de Nouvelle-Calédonie
1 ter, rue E. Unger
Vallée du Tir - BP 465
98845 Nouméa Cedex
Tél. : 0687 27 03 65
Fax : 0687 72 71 28
v.mardhel@brgm.fr

POLYNÉSIE

25 Direction régionale

Pauline Corbier
IRD - Chemin de l'Arahiri - BP 141 227
98701 Arue, Tahiti, Polynésie française
Tél. : 00 689 40 47 42 21
p.corbier@brgm.fr

Agissez pour
le recyclage des
papiers avec
le BRGM
et Ecofolio.

Direction du développement – Appui aux Politiques publiques du BRGM.
3, avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 2.
Crédits Photos : BRGM.
ISBN : 978-2-7159-2664-6. Droits de reproduction, textes et illustrations réservés.
Collaboration rédactionnelle : Philippe Dutartre, Mélanie Fontaine, Laurence Guillemain et Thierry Winter.
Coordination : Mélanie Fontaine et Laurence Guillemain.
Conception & réalisation graphique : www.connexites.fr / Severine Charrier et Pierre Schnebelen.
Impression : Corlet Imprimeur.
Couverture : Côte rocheuse catalane – dentelle d'érosion. © BRGM - Ph. Dutartre.

DIRECTION DU DÉVELOPPEMENT
APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES

BRGM
3, AVENUE CLAUDE GUILLEMIN
BP 36009
45060 ORLÉANS CEDEX 2

TÉL. 33 (0)2 38 64 30 97

www.brgm.fr

Géosciences pour une Terre durable
brgm