



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Eaux souterraines en Bretagne : Panorama des thématiques régionales explorées et verrous existants

Rapport final

BRGM/RP-73922-FR

Version 1 du 13 août 2025

Étude réalisée dans le cadre des projets d'appui aux politiques publiques

Boisson A.

1.89 3740.46 -625.5

Ce rapport a été vérifié le 11/10/2024 et approuvé le 03/03/2025 selon la procédure interne en vigueur au sein du BRGM, qui garantit le respect de ses engagements contractuels, de l'intégrité et de l'impartialité du contenu scientifique et technique du présent rapport, de l'éthique et de la déontologie du BRGM, ainsi que des dispositions réglementaires et législatives auquel il est soumis pour l'exercice de son activité.

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



PRÉFET
DE LA RÉGION
BRETAGNE

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement



Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu contractuellement.

Le demandeur assure lui-même la diffusion qu'il souhaite des exemplaires de ce tirage initial, dont il est seul propriétaire.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur, ainsi que par les termes de la convention.

Les justificatifs du contrôle qualité de ce rapport (auteur, vérificateur, approbateur) peuvent être communiqués à titre confidentiel au destinataire du rapport, à sa demande et dans le strict respect de la réglementation applicable au traitement des données à caractères personnels.

Le BRGM ne saurait être tenu responsable de la divulgation du contenu total ou partiel de ce rapport à un tiers non-autorisé qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Eau Souterraine, Bretagne, Aquifères de socle, Qualité, Quantité, Stratégie.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Boisson A. 2025. Eaux souterraines en Bretagne : Panorama des thématiques régionales explorées et verrous existants. Rapport final V1. BRGM/RP-73922-FR, 67 p., 17 ill., 4 ann.

Synthèse

La DREAL Bretagne et la Région Bretagne ont missionné le BRGM pour produire un panorama des projets qui ont été menés à l'échelle régionale sur la thématique des eaux souterraines et identifier les verrous et axes de travail à développer. L'objectif est de produire un document court permettant par la suite, de définir les actions à mener pour améliorer à l'échelle régionale la gestion de l'eau et de programmer les actions du BRGM dans le cadre de son comité régional de programmation (CRP)¹ mené annuellement.

L'objectif principal du projet est de fournir un panorama des études existantes afin d'orienter les futurs projets de développement à court (1 an), moyen (3 ans), et long terme (10 ans). Les axes de travail ont été définis en concertation avec la DREAL et la Région Bretagne autour de quatre thématiques majeures :

- Aquifères, ressources, dynamique du cycle de l'eau : évolutions et impacts futurs
- Connaissance des prélèvements
- Qualité des eaux : état des lieux et évolutions
- Gestion et gouvernance : outils

Le panorama dressé montre que les besoins pour aboutir à une gestion intégrée et garantir la résilience des ressources en eau sont nombreux. Ces besoins englobent des aspects variés tels que l'acquisition de connaissances, de développement technique et de communication. Cependant, il montre aussi que les actions, les acteurs impliqués et les avancées sont tout aussi nombreux.

En fonction des thématiques, les verrous identifiés peuvent être de natures différentes :

Les verrous de l'axe 1 (Ressources naturelles) sont principalement liés à la connaissance et à la compréhension du milieu. Les modélisations et les capacités de projection sont des attentes fortes des acteurs de l'eau. Ces verrous peuvent, pour certains, être levés par des études opérationnelles relativement courtes, alors que, dans d'autres cas, cela relève de manques qui nécessitent des actions de recherche à plus long terme.

Les verrous de l'axe 2 (Prélèvements anthropiques) relèvent davantage de l'ordre de la gestion, de la communication et de la gouvernance. Sur cet axe, relativement peu de verrous techniques importants existent, mais de nombreux développements méthodologiques (suivi, collecte et diffusion de données, développement d'outils) sont nécessaires. Par ailleurs, sur cet axe, l'évaluation de la consommation en eau reste très difficile.

Concernant l'axe qualité des eaux (Axe 3), les verrous sont à la fois techniques (connaissance et compréhension des processus, état des lieux des connaissances) et fortement politiques, notamment en ce qui concerne la gestion des intrants (nitrates, pesticides...). Les capacités de remédiation des eaux souterraines sont limitées, compte tenu des volumes et des temps de séjour importants dans les aquifères.

Les verrous de l'axe 4 portent principalement sur la communication et les capacités d'information et d'échanges entre les acteurs. Ces capacités sont limitées en partie par la

¹ <https://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/comite-regional-de-programmation-du-brgm-r2065.html>

collecte et l'accès aux données pertinentes. Ce verrou peut être levé par la formation des acteurs, la mise à disposition d'outils de communication accessibles et une amélioration de la collecte, de la validation et de la diffusion des données sur l'eau, tant sur les usages que sur les ressources en eau.

Les connaissances acquises, fournies aux acteurs de l'eau au travers des projets réalisés, et à venir améliorent et continueront d'améliorer progressivement la gestion des ressources en eau en offrant une meilleure évaluation des stocks disponibles et en intégrant des données sur les prélèvements et la qualité des ressources. Grâce aux projections saisonnières et à long terme, il devient possible de suivre l'évolution des ressources et de gérer leur utilisation de manière plus réactive. L'analyse des leviers de gestion, comme les volumes prélevés, les stocks existants et la recharge active des aquifères ainsi que l'aménagement des territoires permet d'optimiser l'exploitation des ressources tout en préservant les milieux. Enfin, les outils de suivi opérationnel et de gestion intégrée, ainsi que la formation des acteurs, renforcent une gouvernance collective et concertée de l'eau.

En complément de ce rapport, plusieurs projets ont été proposés, dans un tableau présent en Annexe 4. Les fiches détaillées des projets ont été fournies aux services de l'Etat. Parmi eux, figure l'harmonisation régionale des cartes géologiques afin de produire un référentiel actualisé qui servira de base à de nombreuses autres études et à la constitution de cartes thématiques (ex : hydrogéologie). Concernant les ressources naturelles, des projets visent à suivre la recharge de manière spatialisée et adaptée aux besoins, à surveiller et à projeter les niveaux d'eau souterraine en fonction des saisons, et à anticiper les étiages grâce au réseau piézométrique. Un projet de recherche à plus long terme sur les échanges nappe-rivière est également proposé. Pour les ressources exploitées, l'objectif est de relier les capacités de production aux ressources naturelles afin d'anticiper les reports de prélèvements sur des ressources limitées, comme cela se produit lors des sécheresses. En ce qui concerne la qualité de l'eau, si les pollutions diffuses et les pesticides restent prioritaires, deux projets complémentaires sur la thermie des cours d'eau et les intrusions salines ont été soumis. Pour la gouvernance, un projet d'évaluation de l'impact des arrêtés sécheresse est également proposé.

Bien que les sciences humaines, économiques et sociales n'aient pas été abordées en détail dans ce rapport, leur contribution à la gestion régionale de l'eau est cruciale pour la communication, l'aménagement du territoire, l'acceptabilité des mesures prises et leur quantification. Elles peuvent être intégrées à de nombreuses thématiques, et leurs apports ne doivent pas être négligés.

Une synthèse vulgarisée du travail mené est disponible en Annexe 1.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. OBJECTIFS.....	9
1.2. DÉMARCHE ET ACCESSIBILITÉ DES DOCUMENTS CONSULTÉS	10
1.3. SPÉCIFICITÉ DES AQUIFÈRES DE SOCLE.....	10
2. Thématiques identifiées	13
3. Etat des lieux et développements nécessaires	15
3.1. AXE 1 : AQUIFÈRES, RESSOURCES ET DYNAMIQUE DU CYCLE DE L'EAU, ÉVOLUTIONS ET IMPACTS.....	20
3.1.1. Module 1.1 : Connaissances géologiques et relation avec les aquifères	20
3.1.2. Module 1.2 : Dynamique des aquifères	21
3.1.3. Module 1.3 : Interactions nappes rivières.....	22
3.1.4. Module 1.4 : Zone non saturée (ZNS).....	23
3.1.5. Module 1.5 : Prévisions saisonnières	24
3.1.6. Module 1.6 : Projection et changement climatique.....	25
3.1.7. Module 1.7 : Besoins des milieux	25
3.1.8. Module 1.8 : Impact anthropique sur les milieux	26
3.1.9. Module 1.9 : Actions de résilience et adaptation	26
3.1.10. Module 1.10 : Hydro(géo)logie urbaine	28
3.1.11. Module 1.11 : Evènements extrêmes	28
3.2. AXE 2 : PRÉLÈVEMENTS ANTHROPIQUES, GESTION, SUIVI ET RÉSILIENCE	28
3.2.1. Module 2.1 : Données d'exploitation et prélèvements.....	28
3.2.2. Module 2.2 : Projection et vigilance.....	29
3.2.3. Module 2.3 : Nouvelles ressources	30
3.2.4. Module 2.4: Bilans-Besoins-Ressources.....	31
3.2.5. Module 2.5 : Outils de gestion et d'information mutualisés	32
3.2.6. Module 2.6 : Consommations.....	33
3.2.7. Module 2.7 : Rejets anthropiques.....	33
3.3. AXE 3 : QUALITÉ DE L'EAU.....	34
3.3.1. Module 3.1: Qualité et milieu naturel	34
3.3.2. Module 3.2: Qualité AEP	34
3.3.3. Module 3.3 : Intrusions salines	35
3.3.4. Module 3.4: Algues vertes	36
3.4. AXE 4 : GESTION ET GOUVERNANCE	36
4. Conclusions.....	37
5. Références	39

Liste des illustrations

Illustration 1 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (Source : Wyns et al., 2004).	11
Illustration 2 : Débits instantanés par mètre en fonction de la profondeur du forage en-dessous de la base des altérites meubles (Mougin et al., 2008). Mesures sur différentes lithologies à l'échelle de la Bretagne sur un échantillon de 6089 forages.	11
Illustration 3 : Schéma conceptuel des aquifères de socle Bretons (Schroëtter et al., 2020).	12
Illustration 4 : Liste des thématiques identifiées organisées en modules.	13
Illustration 5 : Illustration des informations disponibles dans la table thématique.	14
Illustration 6 : Déploiement d'une stratégie de développement des connaissances sur les eaux souterraines. Les grandes flèches représentent les principaux axes. Les textes en noir les thématiques d'intérêt ; les textes en bleu, les modules présentés dans le tableau ; en rouge, les projets qui ont été proposés au CRP pour combler une partie des manques de connaissances.	17
Illustration 7 : Secteurs où l'exploitation de l'eau souterraine peut être encouragée – Débits du milieu fissuré utile (en m ³ /h) - Mougin et al., 2008.	21
Illustration 8 : Carte d'humidité du sol à l'échelle de la parcelle sur le bassin du Meu-Canut – Projet BOSCO.	22
Illustration 9 : Contribution globale des eaux souterraines à l'alimentation des rivières – Projet SILURES Bretagne (Mougin et al., 2008).	23
Illustration 10 : Grille au pas de 25 m de l'épaisseur de la zone non saturée sur le territoire de Rennes Métropole (Pinson et al., 2019).	24
Illustration 11 : Cours d'eau avec lit colmaté incisant partiellement une couche géologique imperméable (aquitard) de surface (Hunt, 2003).	26
Illustration 12 : Superposition de la cartographie de l'indice ANTISEICHE, des zones humides et des parcelles drainées.	27
Illustration 13 : Exemple de résultats de modélisation spatialisant et quantifiant le risque de défaillance de l'approvisionnement en eau potable face à différents scénarios (Bourgeois et al., 2023).	32
Illustration 14 : Coupe schématique perpendiculaire au littoral selon Ghyben-Herzberg (Extrait de Frissant et al., 2005).	35
Illustration 15 : Schéma conceptuel des aquifères bretons – vue en coupe (modifié, d'après Schroëtter et al., 2020).	47
Illustration 16 : Déploiement d'une stratégie de développement des connaissances sur les eaux souterraines. Les grandes flèches représentent les principaux axes. Les textes en noir les thématiques d'intérêt ; les textes en bleu, les modules proposés ; en rouge, les projets qui ont été proposés pour combler une partie des manques de connaissances.	49
Illustration 17 : Liste des projets proposés pour répondre aux manques identifiés en lien avec les eaux souterraines.	50

Liste des annexes

Annexe 1 : Synthèse vulgarisée du projet	45
Annexe 2 : Tableau de synthèse bibliographique.....	53
Annexe 3 : Thématiques et organisation des modules.....	57
Annexe 4 : Projets proposés.....	65

1. Introduction

La DREAL Bretagne et Région Bretagne ont missionné le BRGM pour produire un panorama des projets qui ont été menés à l'échelle régionale sur la thématique des eaux souterraines. L'objectif est de produire un document synthétique permettant par la suite de définir les actions à entreprendre pour améliorer à l'échelle régionale la gestion de l'eau et de programmer les actions du BRGM dans le cadre de son comité régional de programmation (CRP) organisé annuellement. L'objectif est d'identifier les verrous existants sur différentes thématiques afin de les lever à une échelle régionale, pour une application locale.

1.1. OBJECTIFS

L'objectif principal du projet est de fournir un panorama des études existantes afin d'orienter les futurs projets de recherche et développement à court (1 an), moyen (3 ans), et long terme (10 ans). Les axes de travail ont été définis en concertation avec la DREAL Bretagne et la Région Bretagne autour de quatre thématiques majeures :

- Aquifères, ressources, dynamique du cycle de l'eau : évolutions et impacts futurs
- Connaissance des prélèvements
- Qualité des eaux : état des lieux et évolutions
- Gestion et gouvernance

La synthèse réalisée dans le cadre du projet vise à identifier les lacunes actuelles pour mieux répondre aux enjeux de la gestion de l'eau. Parmi les questions clés figurent : quel est l'état des connaissances sur les interactions entre nappes d'eau souterraine et rivières, la réserve utile des sols et le potentiel d'infiltration à l'échelle régionale ? Comment ces éléments pourraient-ils être mobilisés pour une gestion optimisée des ressources ? Quelles sont les dynamiques de recharge et de vidange des nappes et leur rôle dans le soutien aux eaux de surface ? Comment exploiter ces informations pour préserver les milieux aquatiques dans un contexte de changement climatique ?

D'autres interrogations concernent la sécurisation de l'approvisionnement en eau potable (AEP), la conciliation des usages sur les territoires, y compris l'impact des nouveaux prélèvements et des aménagements. Est-il possible de réalimenter artificiellement les nappes en Bretagne et quelles en seraient les conséquences et les limites ? Quelles sont les interactions entre la quantité et la qualité des eaux souterraines, notamment en ce qui concerne les pollutions diffuses (ex : nitrates), les pesticides, les polluants émergents et les intrusions salines ? Quelles évolutions peut-on anticiper, et comment les prévenir ?

Cette réflexion s'étendra également à des aspects transversaux, tels que la gouvernance de l'eau, qui nécessite d'être incluse dans une approche globale même si elle ne fait pas l'objet d'une synthèse dans le présent document.

Enfin, le projet a pour objectif de résumer une large partie des résultats de projets régionaux dans un document synthétique. Chacune des thématiques abordées étant complexe, elles pourraient faire l'objet d'études approfondies ou de rapports individuels dédiés.

1.2. DÉMARCHE ET ACCESSIBILITÉ DES DOCUMENTS CONSULTÉS

L'état des lieux présenté, les verrous identifiés et les projets proposés s'appuient sur une revue bibliographique des projets réalisés en Bretagne sur la thématique des eaux souterraines. Les documents consultés sont listés en Annexe 2 avec pour chacun, les thématiques abordées. Cet état des lieux est orienté sur les eaux souterraines. La revue bibliographique s'appuie sur des documents en accès libre consultables par l'ensemble des lecteurs potentiels. Pour cette raison, elle comprend essentiellement les études menées par le BRGM et les thèses réalisées dans le cadre de recherches universitaires. En raison des contraintes de temps alloué à ce projet, l'abondante bibliographie scientifique disponible n'a pas pu être entièrement abordée. De même, les rapports de bureaux d'études réalisés sur les territoires n'ont pas été consultés en raison de leur nombre important et de leur manque d'accessibilité.

L'ensemble des rapports BRGM cités est disponible en accès libre sur le site Infoterre (<http://infoterre.brgm.fr/>). Les thèses mentionnées sont disponibles sur le site <https://www.theses.fr/>. Les articles des publications scientifiques sont disponibles sur les sites des différents éditeurs. Dans une démarche de science ouverte, une majorité des articles récents sont publiés en accès libre et sont donc accessibles ; toutefois, une partie importante reste uniquement accessible par abonnement.

1.3. SPÉCIFICITÉ DES AQUIFÈRES DE SOCLE

Régionalement, le Massif armoricain ne possède pas de grands aquifères et l'hydrogéologie est composée d'une multitude de petits aquifères locaux. Les capacités aquifères locales sont dépendantes de la lithologie, de l'altération et de la fracturation des roches. Ces aquifères ont des extensions généralement limitées et des propriétés hydrodynamiques très hétérogènes pouvant varier sur plusieurs ordres de grandeurs, à la fois pour la perméabilité (capacité conductrice) et l'emmagasinement (capacité de stockage). En domaine de socle (granites et schistes), une structure d'aquifère stratiforme découlant de l'altération peut être décrite de la surface vers la profondeur par trois zones en fonction de l'altération et de la fracturation rencontrée (Illustration 1) :

- **les altérites** constituent un horizon meuble riche en argiles provenant de la décomposition in situ de la roche mère. En raison de sa composition argilo-sableuse, les altérites ont une porosité effective importante souvent comprise entre 3 et 10%. Elles sont donc souvent considérées comme ayant un rôle capacitif. En revanche leur conductivité hydraulique est généralement faible et est généralement comprise entre 10^{-6} et 10^{-8} m/s ;
- en dessous, l'**horizon fissuré** se caractérise par une fissuration très dense dans les premiers mètres qui décroît par la suite avec la profondeur à partir d'un maximum obtenu à l'interface entre la base des altérites et l'horizon fissuré. Dans les roches isotropes (granitoïdes) ou à foliation verticale, cette fissuration est dominée par les fractures subhorizontales. Cet horizon fissuré peut avoir localement une forte conductivité hydraulique et assure le rôle transmissif de l'aquifère ;
- en dessous de l'horizon fissuré, **la roche saine** n'est perméable que très localement à la faveur de fractures d'origine tectonique.

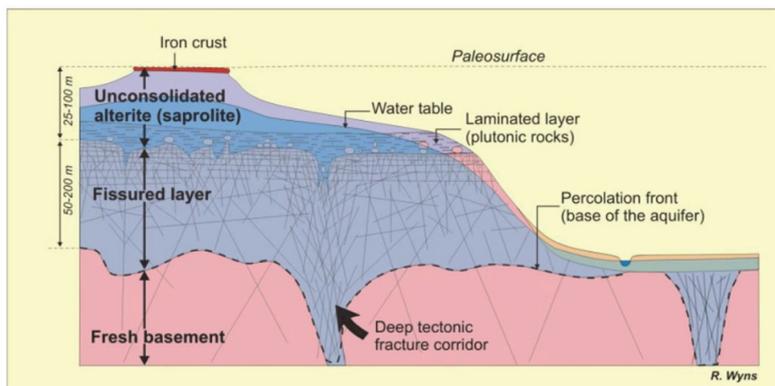


Illustration 1 : Schéma conceptuel des aquifères de socle (Source : Wyns et al., 2004).

Cette structuration du milieu implique une diminution de la perméabilité et de l'emmagasinement avec la profondeur (Boisson et al., 2015 ; Dewandel et al., 2006). Ceci se traduit par une diminution des débits instantanés par mètre linéaire avec la profondeur. La compilation des données bretonnes effectuées dans le cadre du projet SILURES Bretagne (Illustration 2) illustre ce comportement (Mougin et al., 2008a).

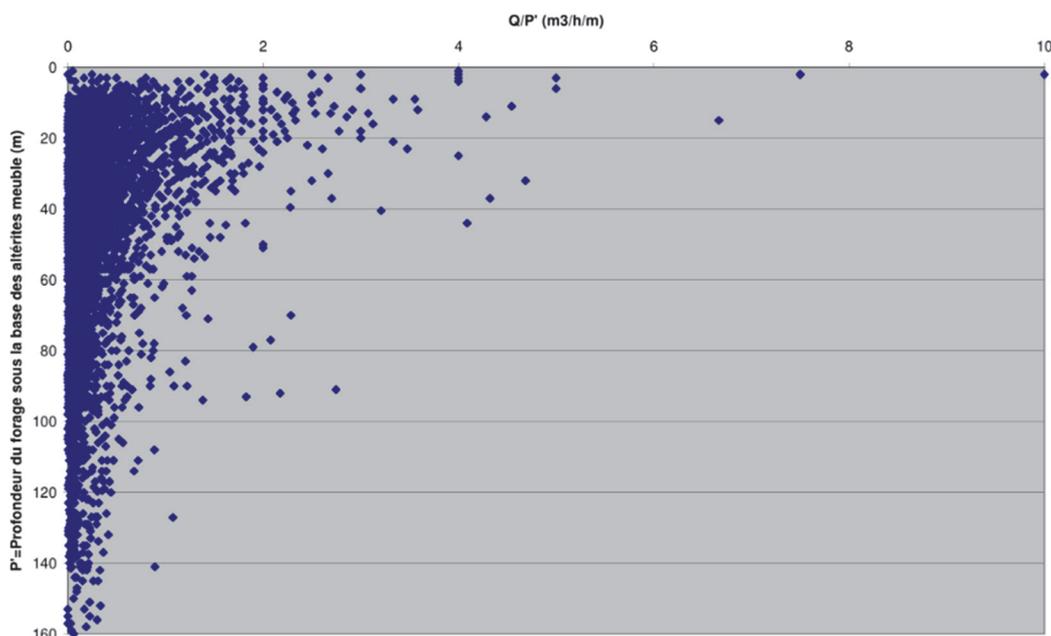


Illustration 2 : Débits instantanés par mètre en fonction de la profondeur du forage en-dessous de la base des altérites meubles (Mougin et al., 2008). Mesures sur différentes lithologies à l'échelle de la Bretagne sur un échantillon de 6089 forages.

En plus de ces horizons d'altération, les différents réservoirs peuvent être recoupés par des failles majeures ou des déformations liées à la tectonique ou au métamorphisme lors de la mise en place de plutons granitiques. L'impact de la présence de failles sur le potentiel d'exploitation et sur la continuité des aquifères de socle est difficile à identifier a priori (Bense et al., 2013). Dans certains cas, les failles sont faiblement perméables (Gleeson and Novakowski, 2009) et agissent comme des barrières hydrauliques. Dans d'autres situations, les failles favorisent la présence d'importants flux souterrains (Le Borgne et al., 2006 ; Roques et al., 2014). La présence de failles donne souvent lieu à des comportements hydrogéologiques complexes, provoqués par des combinaisons entre chemins d'écoulements locaux et régionaux, sans parler des interactions

possibles avec des compartiments profonds (Jiménez-Martínez et al., 2013 ; Roques et al., 2014). La présence de failles d'échelle régionale peut donner lieu à des débits importants (ex : 110 m³/h en exploitation sur le site de Ploemeur (Jiménez-Martínez et al., 2013) mais ont souvent des comportements complexes avec des échanges entre écoulements souterrains et superficiels (ex : Site de Saint-Brice-en-Coglès, (Roques et al., 2014)). Les différents types d'aquifères et de contexte ont été synthétisés par (Schroëtter et al., 2020), Illustration 3. Du fait de ces hétérogénéités, les propriétés de ces aquifères restent difficilement régionalisables.

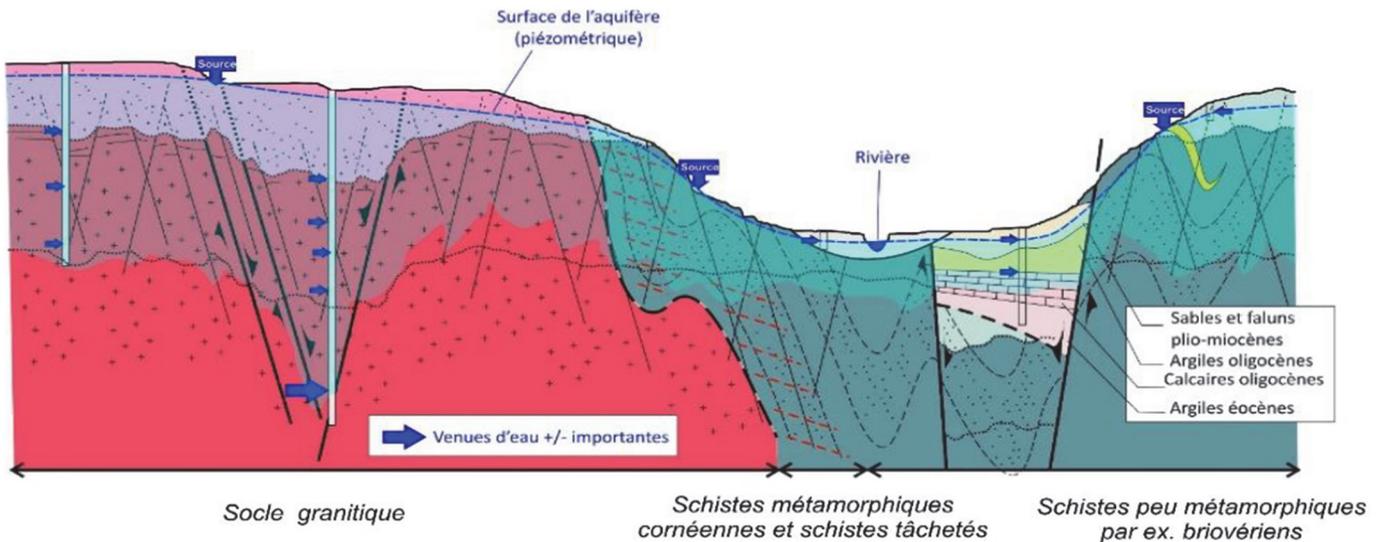


Illustration 3 : Schéma conceptuel des aquifères de socle Bretons (Schroëtter et al., 2020).

La dynamique de ces aquifères est dominée par des cycles annuels de remplissages et de vidanges naturelles. Des cycles pluriannuels qui se superposent aux cycles annuels qui sont observables sur certains piézomètres restent limités. Ces cycles rapides induisent la nécessité d'une gestion annuelle et d'un suivi fin de l'évolution des ressources. Malgré des capacités de stockage pouvant, en comparaison des grands bassins sédimentaires, être limitées, celles-ci sont cependant essentielles pour le cycle de l'eau à l'échelle régionale en ayant une influence majeure sur le débit des cours d'eau. Mougin et al., (2008) estiment qu'à l'échelle annuelle les apports d'eau souterraine constituent de 35 à 85% des écoulements des eaux de surface. Cette proportion peut atteindre 100 % dans certains cas en période d'étiage. Les eaux souterraines, souvent négligées à l'échelle régionale sont un élément majeur du cycle de l'eau grâce à leur stock, ralentissant les écoulements et assurant la disponibilité d'une ressource tout au long de l'année.

2. Thématiques identifiées

Une revue bibliographique a été réalisée, et l'ensemble des documents consultés (à l'exception des publications de revues scientifiques) est fourni dans un tableau Excel au service demandeur. Ce tableau est annexé au rapport (Annexe 2).

Les thématiques identifiées visent à répondre aux questions initialement posées (voir sections précédentes) dans le cadre de cette revue bibliographique. Ces thématiques sont synthétisées dans le tableau suivant (Illustration 4) et regroupées en modules qui individuellement ont pu faire ou pourront faire l'objet d'une ou plusieurs études scientifiques. Plusieurs modules peuvent être enrichis par des liens et des connaissances d'autres modules. Ces connexions entre un ou plusieurs modules ont été intégrées pour permettre de voir les interactions entre eux. Les interactions et les liens entre les modules sont synthétisés à la fin de ce rapport en Annexe 3. Pour un certain nombre d'entre eux, des projets à développer sont présentés.

Axe 1 : Aquifères, Ressources et dynamique du cycle de l'eau, évolutions et impacts
Module 1.1: Connaissances géologiques
Module 1.2: Suivi et dynamique des aquifères
Module 1.3: Interactions Nappes rivières
Module 1.4: Zone non Saturée (ZNS)
Module 1.5: Prévisions saisonnières
Module 1.6: Changement global et projections futures
Module 1.7: Besoins des milieux
Module 1.8: Impact anthropique sur le milieu
Module 1.9: Actions de résilience et adaptation
Module 1.10: Hydrologie urbaine
Module 1.11: Evènements extrêmes
Axe 2 : Prélèvements anthropiques, gestion, suivi et résilience
Module 2.1: Données d'exploitation et prélèvements
Module 2.2: Projection et vigilance
Module 2.3: Nouvelles ressources
Module 2.4: Bilans Besoins-Ressources
Module 2.5: Outils de gestion et d'information mutualisés
Module 2.6: Consommations
Module 2.7: Rejets anthropiques
Axe 3: Qualité de l'eau, Etat des lieux et évolutions
Module 3.1: Qualité et milieu naturel
Module 3.2: Qualité AEP
Module 3.3: Intrusions salines
Module 3.4: Algues vertes
Axe 4 : Communication, diffusion, valorisation et gouvernance
Module 4.1: Acteurs
Module 4.2: Outils temps réel et projections accessibles court terme
Module 4.3: Outils dynamiques de suivi Besoins-ressources
Module 4.4: Planification & Gouvernance
Module 4.5: Socio-économie de l'eau

Illustration 4 : Liste des thématiques identifiées organisées en modules.

3. Etat des lieux et développements nécessaires

Les interactions entre géologie et climat vont déterminer le cycle de l'eau de surface et des eaux souterraines, qui sera ensuite modifié d'un point de vue quantitatif par les actions anthropiques au travers des aménagements du territoire et des prélèvements. D'un point de vue qualitatif, la physico-chimie de l'eau peut être modifiée par la roche ou les intrants anthropiques, ce qui peut entraîner une perte de la ressource en eau en raison de la dégradation de sa qualité.

L'approfondissement des connaissances sur les aspects quantitatifs et qualitatifs de la ressource permet d'améliorer nos capacités de gestion. À partir d'une estimation des stocks, il est ensuite possible de passer au suivi de la ressource, à une optimisation de certaines ressources, puis à une gestion intégrée des ressources permettant de garantir une bonne résilience à la fois des milieux et des besoins humains. Ces éléments, leurs interactions et les principaux risques sont présentés dans l'illustration suivante (Illustration 6).

Pour atteindre l'objectif de résilience des humains et des milieux vis-à-vis de la ressource en eau, de nombreux éléments et étapes sont nécessaires. Ces actions sont décrites sous forme de modules. Le schéma suivant (Illustration 6) replace les différentes briques et leurs interactions permettant d'aboutir à cet objectif.

Les sections suivantes (3.1 à 3.4) et l'illustration 6 cherchent à synthétiser, à travers des projets existants, l'état d'avancement de ces briques et à identifier les besoins. L'objectif est de replacer les projets proposés à l'issue de ce travail, dans un contexte plus global, pour identifier leurs interactions. Certains manques de connaissances pourront être ainsi en partie comblés par les projets décrits en Annexe 4. Ces projets ont fait l'objet de fiches de synthèse de ce rapport fournies aux services de l'Etat et à la Région Bretagne.

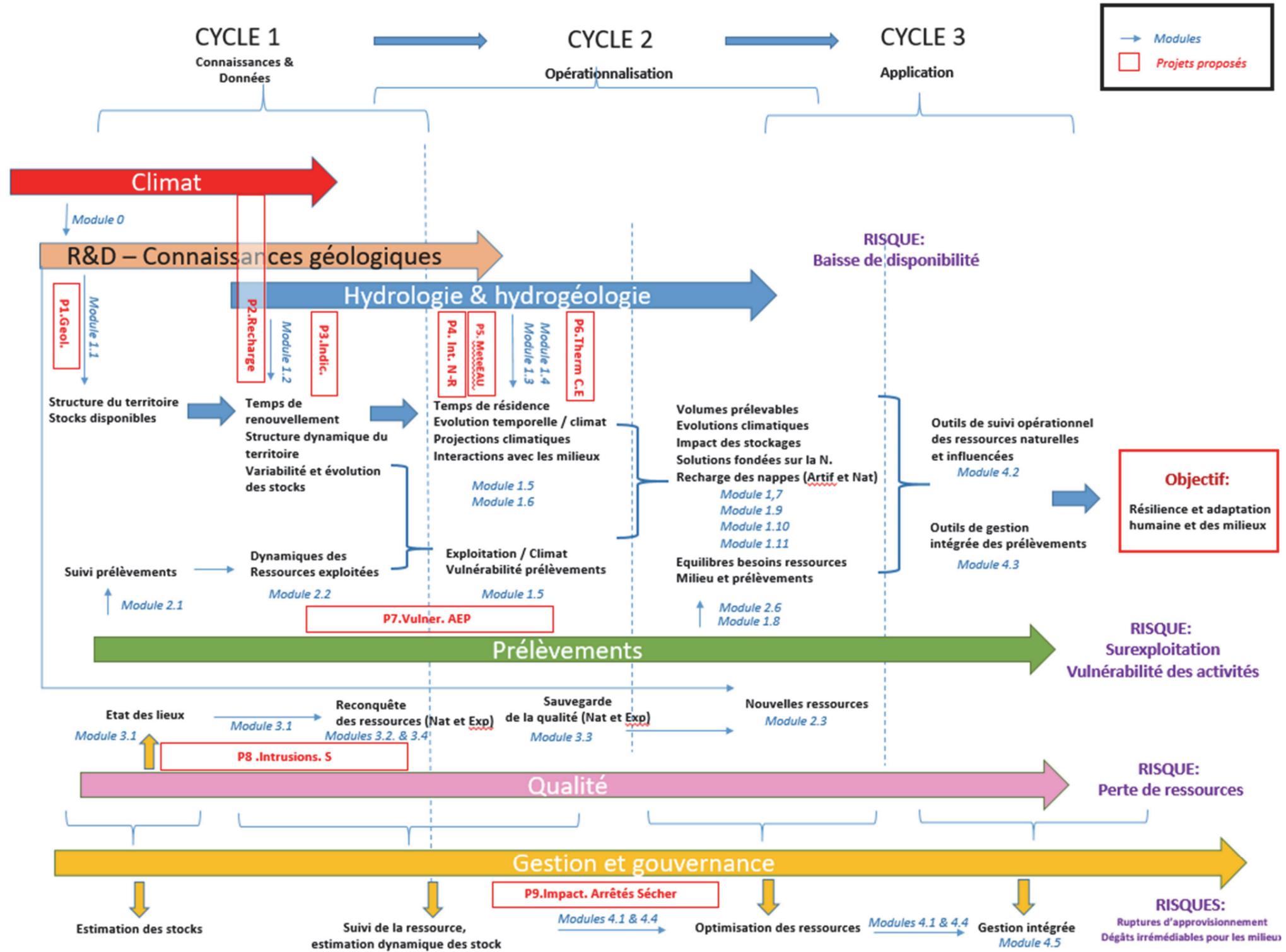


Illustration 6: Déploiement d'une stratégie de développement des connaissances sur les eaux souterraines. Les grandes flèches représentent les principaux axes. Les textes en noir les thématiques d'intérêt ; les textes en bleu, les modules présentés dans le tableau ; en rouge, les projets qui ont été proposés au CRP pour combler une partie des manques de connaissances.

L'objectif de l'état des lieux est de décomposer les éléments du cycle de l'eau afin d'atteindre une résilience permettant de subvenir aux besoins des milieux et des humains. Pour cela, il est essentiel de disposer d'une bonne connaissance de la situation, obtenue à travers la collecte de données, puis d'aller vers une opérationnalisation de ces informations avant d'aboutir à des applications concrètes, utilisables par l'ensemble des acteurs de l'eau.

Cette démarche est structurée autour de plusieurs axes. Le **premier axe concerne le climat, les connaissances géologiques, l'hydrologie et l'hydrogéologie**, qui représentent les ressources naturelles, pour lesquelles le principal risque identifié est une diminution de leur disponibilité, tant pour l'homme que pour les milieux. Un **second axe concerne les activités humaines**, notamment les prélèvements d'eau dans le milieu pour l'alimentation en eau potable et les activités économiques, qu'elles soient agricoles ou industrielles. Pour cet axe, le risque de surexploitation des ressources est réel, pouvant conduire à la perte d'accès à ces ressources (déséquilibre quantitatif, qualité), rendant vulnérables les activités économiques et/ou provoquant des ruptures d'approvisionnement. Les actions anthropiques peuvent également affecter **la qualité des eaux (axe 3)**, entraînant des pertes de ressources. Enfin, **l'axe (axe 4) autour de la gestion et de la gouvernance** doit permettre une articulation entre les acteurs pour parvenir à un équilibre et une gestion raisonnée et concertée des ressources.

Le premier élément du cycle de l'eau est le climat dont les historiques et prévisions climatiques sont fournies par Météo France (Safran) et les prévisions à long terme par DRIAS. Différents scénarios climatiques existent et actuellement, les besoins sont principalement axés sur la fiabilité des projections (à court et long terme) et le changement d'échelle pour une utilisation locale. Ces éléments sont en dehors du contexte de la présente synthèse. Du point de vue des ressources en eau, les difficultés proviennent de notre capacité à transférer le signal climatique vers le cycle hydrologique. La quantification de la recharge des aquifères reste actuellement peu disponible à des échelles spatiales adaptées aux besoins. Cette information est pourtant primordiale pour l'estimation de la recharge, l'agriculture, la modélisation des écoulements et l'exploitation des ressources notamment.

Les **connaissances géologiques** vont, quant à elles, informer sur la structure du milieu qui contrôle le passage des précipitations vers les eaux de surface et les eaux souterraines. L'amélioration des connaissances géologiques, notamment par l'identification et la cartographie de l'altération, peut fournir une estimation des stocks disponibles (Module 1.1). Ces informations doivent être complétées par le suivi et l'amélioration des connaissances sur la dynamique des aquifères (Module 1.2), ce qui permettra de définir les temps de renouvellement des ressources, la dynamique du territoire ainsi que la variabilité et l'évolution des stocks. Ces connaissances, alimentées par celles sur les interactions nappe-rivière et la zone non saturée, pourront par la suite être utilisées pour quantifier les interactions du cycle de l'eau avec les milieux, et fournir des éléments prospectifs sur l'évolution de ces interactions sous forçage climatique saisonnier et à long terme (modules 1.6 et 1.7). En parallèle, les prélèvements influent aussi sur le cycle de l'eau. La première étape consiste ici à mieux suivre les prélèvements (module 2.1), à connaître la dynamique des ressources exploitées (module 2.2), mais aussi à être en mesure de faire le lien entre l'exploitation, le climat, la variabilité des prélèvements et leur répartition (module 1.5). Le manque de ressources disponibles peut être comblé par la recherche de nouvelles ressources en eau (module 2.3).

L'amélioration des connaissances, tant des ressources naturelles que des actions anthropiques, permettra de définir des volumes prélevables respectant les milieux, d'anticiper les vulnérabilités liées aux variations climatiques, et de quantifier les moyens d'action possibles. Il peut s'agir d'actions autour de l'aménagement des territoires, de solutions fondées sur la nature, de la recharge des nappes, ainsi que d'évaluer l'impact des solutions de stockage ou les possibilités de recharge artificielle des nappes. L'amélioration des connaissances sur les ressources

naturelles et les impacts anthropiques sur les milieux permet une quantification et le développement d'outils de suivi opérationnel des ressources naturelles et influencées (module 4.2), ainsi que d'outils de gestion intégrée des prélèvements (module 4.3).

Les questions autour du volet quantitatif ne doivent pas faire oublier que la perte de qualité est aussi une perte de ressources disponibles pour l'homme et une menace pour les milieux. Pour ce volet qualitatif, il convient de réaliser un état des lieux régulier de la situation (module 3.1), de mettre en place des actions de reconquête là où cela est nécessaire (modules 3.2 et 3.4), tout en assurant la sauvegarde de la qualité des ressources existantes.

Le développement progressif de ces connaissances contribue à renforcer la gestion de la ressource en améliorant les capacités de gouvernance et de pilotage. Les connaissances sur la structure du territoire permettent les estimations des stocks d'eau disponibles (module 1.1), qui peuvent être comparés aux prélèvements (module 2.1) et modulés par l'état actuel qualitatif des ressources (module 3.1). Ces éléments permettent un constat de la situation et une estimation des stocks. L'apport des informations sur la dynamique des ressources en eau (module 1.2), des interactions nappes-rivière (module 1.3) et zone non saturée (module 1.4) permettront de développer une vision prospective et des projections saisonnières (module 1.6) et à plus long terme (module 1.7). Ces éléments peuvent être couplés à la dynamique des prélèvements (module 2.2) et la vulnérabilité des ressources exploitées (module 1.5) ce qui permet un suivi saisonnier de la ressource et une gestion dynamique de celle-ci. Les connaissances des impacts des leviers possibles de gestion des ressources naturelles telles que les évaluations des volumes disponibles, l'impact des stockages et retenues, de la recharge des aquifères et des solutions d'aménagement, mis en regard avec les équilibres besoins ressources (modules 1.8 et 2.6) permettent une optimisation des ressources et de prélèvements à l'échelle d'un territoire.

Finalement, l'ensemble des informations disponibles grâce aux outils de suivi opérationnel des ressources (module 4.2) et aux outils de gestion intégrée des prélèvements (module 4.3) permettent d'aboutir grâce à la formation des acteurs (modules 4.1 et 4.4), à une gestion intégrée et concertée des ressources en eau. L'ensemble des axes est développé dans les paragraphes suivants.

3.1. AXE 1 : AQUIFÈRES, RESSOURCES ET DYNAMIQUE DU CYCLE DE L'EAU, ÉVOLUTIONS ET IMPACTS.

3.1.1. Module 1.1 : Connaissances géologiques et relation avec les aquifères

Bien qu'ayant évolué au fil des années, les connaissances géologiques à vocation hydrogéologique demeurent incomplètes pour répondre à l'ensemble des besoins variés des acteurs de l'eau. Le projet SILURES (Mougin et al., 2008) a permis d'estimer les zones propices à la recherche d'eau en fonction des lithologies. Mené à l'échelle régionale, ce projet se heurte à la forte hétérogénéité des propriétés hydrodynamiques au sein des bassins versants. Bien que des méthodes aient été développées pour quantifier ces hétérogénéités plus locales (Dewandel et al., 2021, 2020), elles n'ont pas été largement appliquées. Les projets ANAFORE (Schroëtter et al., 2020) et la thèse de C. Roques (Roques, 2014) ont quant à eux, fourni des informations pour prendre en compte, en plus de l'aspect lithologique, l'aspect structural (ex : failles) influençant la productivité des forages.

Les modèles conceptuels de fonctionnement des aquifères de socle sont maintenant largement acceptés, mais leur application à l'échelle locale, celle du bassin versant, reste limitée à des études régionales. Le manque d'homogénéité des connaissances sur les altérites et l'horizon fissuré persiste à l'échelle du territoire (cartes géologiques au 50 000^{ème} avec des prises en compte différentes des altérites et une harmonisation uniquement à l'échelle départementale) et nécessitent une harmonisation régionale.

Face à ce constat, il est proposé dans un premier temps et à court terme, dans le cadre d'un projet P1, de réaliser une harmonisation de la géologie régionale à l'échelle du 50 000^{ème} prenant en compte les cartes manquantes (21) depuis l'époque des harmonisations départementales. Une présentation du projet est fournie en Annexe 4. Cette action permettra la réalisation d'un référentiel régional, pouvant être étendu à l'ensemble du Massif armoricain. Ce référentiel permettra à moyen terme la réalisation de cartes thématiques (ex : hydrogéologie) pouvant être utilisées par les acteurs de l'eau.

Par la suite, il sera possible d'établir des cartographies détaillées sur certains territoires (échelle 25 000^{ème}), qui pourront être exploitées pour d'autres usages (aménagement, risques). L'identification des axes de recherche et d'acquisition de nouvelles connaissances, notamment sur la qualification des disparités régionales, pourront alors s'appuyer sur ces cartographies. L'amélioration des connaissances géologiques peut être obtenue par des mesures sur le terrain, des modélisations et l'acquisition de nouvelles données. Il pourrait s'agir notamment de levés géophysiques ou aéroportés qui ont montré des apports significatifs pour l'amélioration des connaissances géologiques (ex : levés électromagnétiques en Martinique).

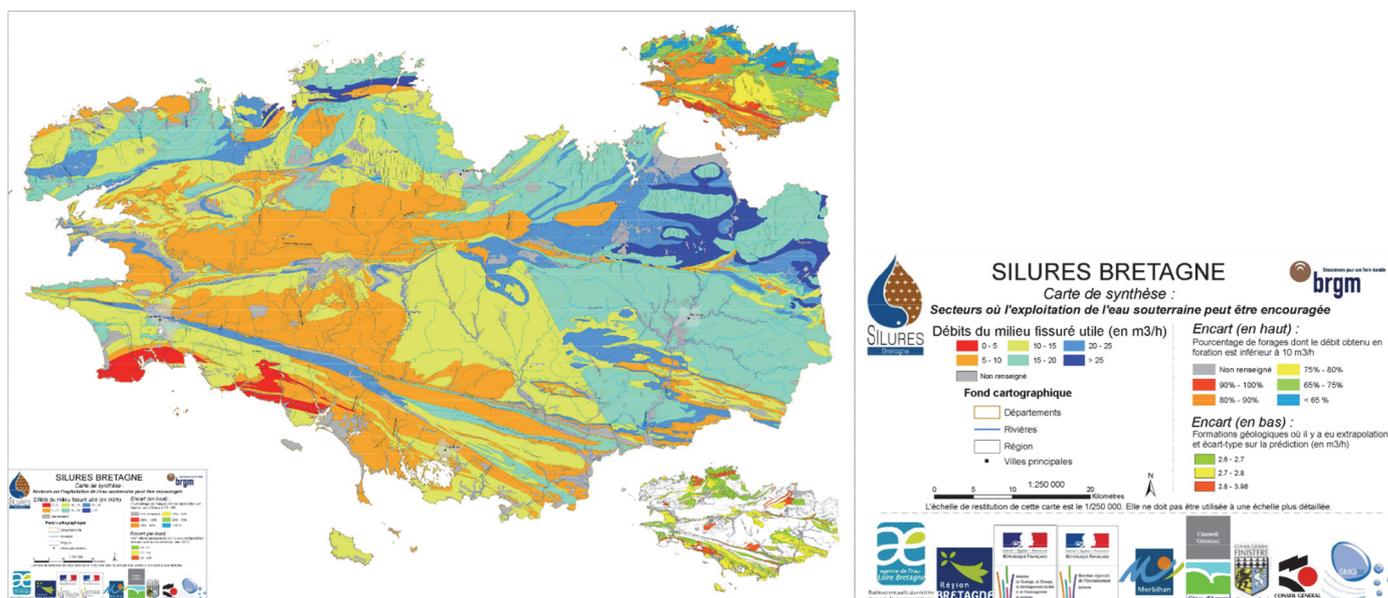


Illustration 7 : Secteurs où l'exploitation de l'eau souterraine peut être encouragée – Débits du milieu fissuré utile (en m³/h) - Mougin et al., 2008.

3.1.2. Module 1.2 : Dynamique des aquifères

Les disparités géologiques et notamment l'altération, se reflètent dans la dynamique des aquifères. Actuellement, la dynamique des aquifères est suivie à l'échelle régionale par le réseau piézométrique national géré par le BRGM (Mougin, 2006). Une qualification de l'historique des évolutions des aquifères et des cours d'eau a été réalisée à l'échelle régionale dans le cadre du projet *De l'Eau pour Demain*, à travers des analyses de données (Boisson et al., 2023) et des modélisations (Cornette, 2022 ; Mougin et al., 2008). Un des axes du projet a apporté de nouveaux éléments de connaissances sur les dynamiques territoriales et a permis de faire le lien entre nature des roches et propriétés hydrodynamiques. À l'heure actuelle, ces dynamiques sont bien connues pour les bassins jaugés, là où des données existent, mais les capacités d'extrapolation pour les bassins non jaugés, notamment les zones côtières, restent limitées. **Les lacunes actuelles résident dans la généralisation des dynamiques et les capacités d'extrapolation à l'échelle du territoire.**

Pour remédier à ces lacunes, des méthodes de modélisation adaptées peuvent améliorer les capacités d'extrapolation. Des projets sont actuellement en cours de développement au sein de l'OSUR et du BRGM dans cette optique. Les objectifs sur cet axe doivent permettre de mieux comprendre et quantifier la dynamique des aquifères, mais aussi de rendre l'information accessible à une vaste population d'utilisateurs, afin de permettre sa réutilisation pour des applications locales. Dans cette optique, les éléments présentés dans les modules 1.5 (Prévision saisonnière) et 1.6 (Projection et changement climatique) répondront aux besoins à court terme (Module 1.5) et à moyen/long terme (Module 1.6).

Cependant, ces développements nécessitent des données d'entrée à la fois avec de bonnes résolutions spatiales et temporelles. La dynamique des aquifères étant influencée en premier lieu par la dynamique de la recharge, il est proposé à court terme de capitaliser sur les développements récents de mesure des taux d'humidité des sols à l'échelle de la parcelle, par télédétection (projet Bosco – OSUR - Space for Climate Observatory, 2024 - Illustration 8). Cela se ferait en reliant les taux d'humidité mesurés à la recharge des aquifères et en établissant un lien avec la géologie, afin de fournir des résultats à des échelles opérationnelles adaptées, aux différents acteurs de l'eau, de l'échelle de la parcelle à celle des bassins versants (ex. : Études HMUC). Il s'agit du projet nommé P2, proposé en Annexe 4. Ces éléments serviront de données d'entrée pour les modélisations futures réalisées à moyen terme (Module 1.6).

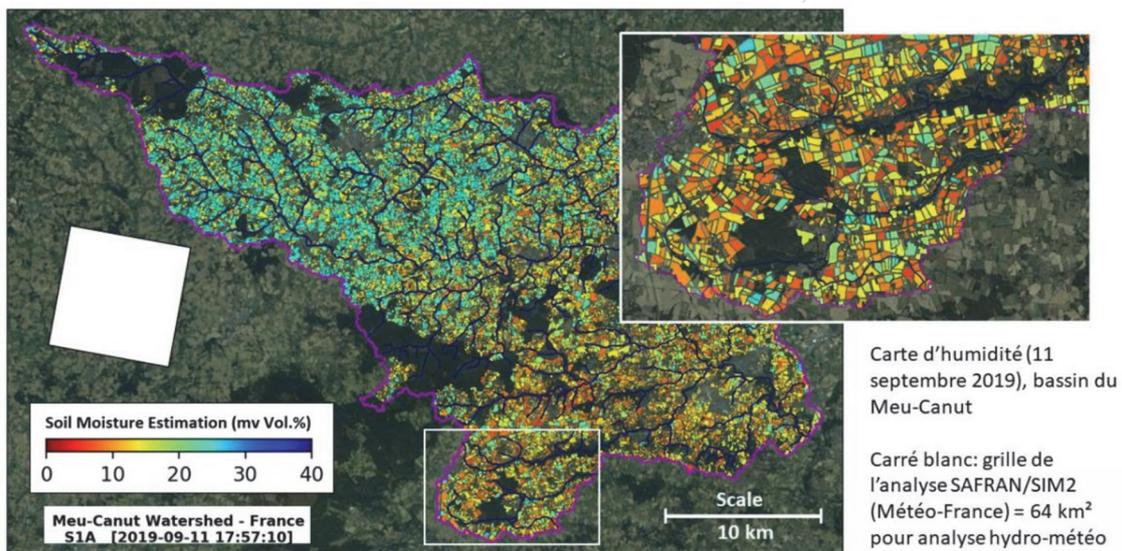


Illustration 8 : Carte d'humidité du sol à l'échelle de la parcelle sur le bassin du Meu-Canut – Projet BOSCO.

3.1.3. Module 1.3 : Interactions nappes rivières

Différentes études ont été menées pour qualifier les interactions entre nappes et rivières. À l'échelle régionale, les modélisations réalisées dans le cadre du projet SILURES (Mougin et al., 2008) ont mis en évidence l'importance des aquifères pour le soutien de l'étiage (apports annuels de 35 à 85%) (Illustration 9). À l'échelle de certains bassins versants, les quantifications des temps de résidence et des chemins d'écoulements ont été effectuées (Kolbe, 2017 ; Marçais, 2018 ; Vautier, 2019). Des approches de modélisation à l'échelle du versant et du bassin versant ont aussi été développées (Abhervé, 2022 ; Cornette, 2022 ; Courtois, 2019 ; Marçais, 2018). **Une difficulté majeure réside dans la généralisation des processus se produisant à l'échelle du versant à des échelles plus larges, permettant des actions opérationnelles.** Les connaissances sur les temps de résidence, les échanges nappe-rivière et les chemins d'écoulement sont nécessaires pour évaluer l'impact local des prélèvements, des retenues, le transport de polluants, l'impact de restauration des paysages (bocages, retraits de trains), etc.

Les interactions nappes-rivières sont des éléments cruciaux de la gestion de l'eau sur un territoire tel que la Bretagne car les nappes régulent notamment le débit des cours d'eau à l'étiage. Afin d'améliorer les connaissances sur cette thématique, deux projets sont présentés en Annexe 4. Le premier, que l'on appellera P5 à, réalisable à court terme, propose de relier les informations piézométriques et de débit existantes à travers des outils disponibles (MétéEAU Nappes) pour fournir une cartographie opérationnelle, une carte d'anticipation des secteurs en tension hydrogéologique. Le second projet, appelé P4, réalisable à plus longue échéance, vise à améliorer les connaissances sur les interactions entre nappes et rivières en couplant des approches géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques, géochimiques et des modélisations d'écoulements pour déterminer les temps de transfert et les volumes d'échanges à l'échelle du versant jusqu'au bassin versant.

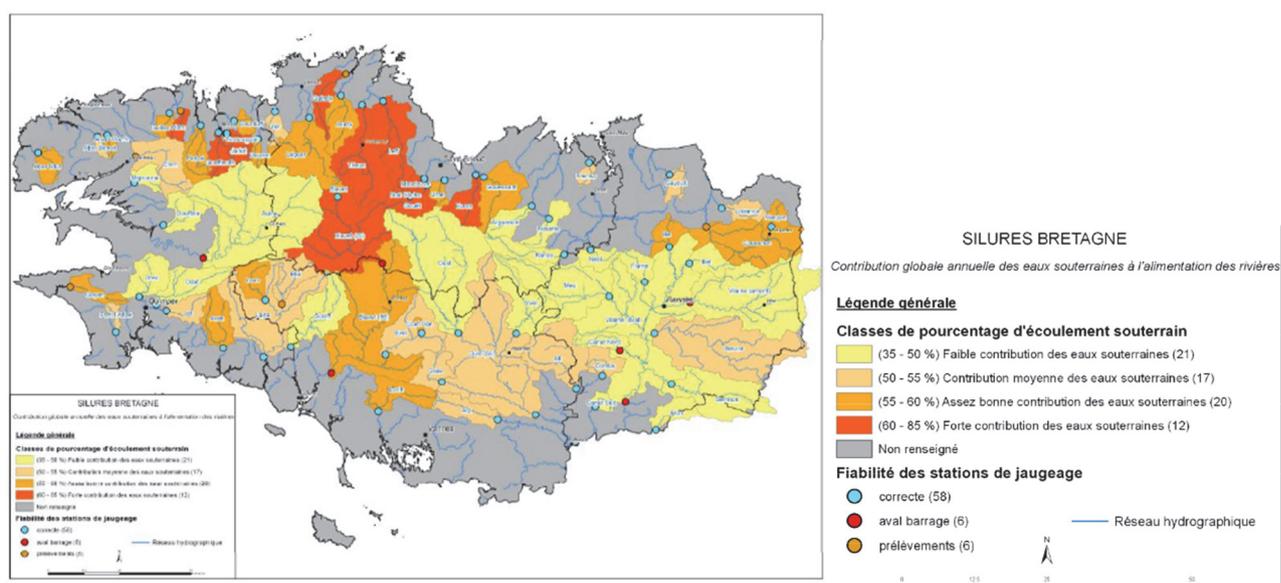


Illustration 9 : Contribution globale des eaux souterraines à l'alimentation des rivières – Projet SILURES Bretagne (Mougin et al., 2008).

3.1.4. Module 1.4 : Zone non saturée (ZNS)

La zone non saturée se situe entre la surface du sol et le toit de la nappe. Elle est le siège de mécanismes complexes de stockage/déstockage d'éléments. Dans cet horizon, les écoulements peuvent à la fois être rapides en raison de chemins d'écoulement préférentiels mais aussi très lents en raison d'une perméabilité des milieux diminuant en fonction de la saturation en eau. La ZNS contrôle en partie la temporalité de la recharge des aquifères et le stockage d'éléments. En raison du changement climatique et l'occurrence à la fois de précipitations plus extrêmes à certaines périodes et de sécheresses plus importantes, la dynamique peut être altérée. Des battements de nappe plus importants peuvent entraîner des variations dans la temporalité de la recharge des aquifères et le stockage/déstockage en modifiant les mécanismes de lessivage d'éléments naturels et anthropiques dans les eaux. A l'échelle régionale, les mécanismes de transfert en ZNS ont notamment été étudiés par l'INRAe et l'Institut Agro (Legout et al., 2007 ; Molénat et al., 2002). L'estimation de l'épaisseur de la ZNS a aussi été estimée sur certains territoires bretons, notamment pour les thématiques d'infiltration en milieu urbain (Ex : projet Phoebus, (Pinson et al., 2019) - Illustration 10)) ou de restauration des zones humides (Projet Antiseiche, (Lucassou et al., 2023c)).

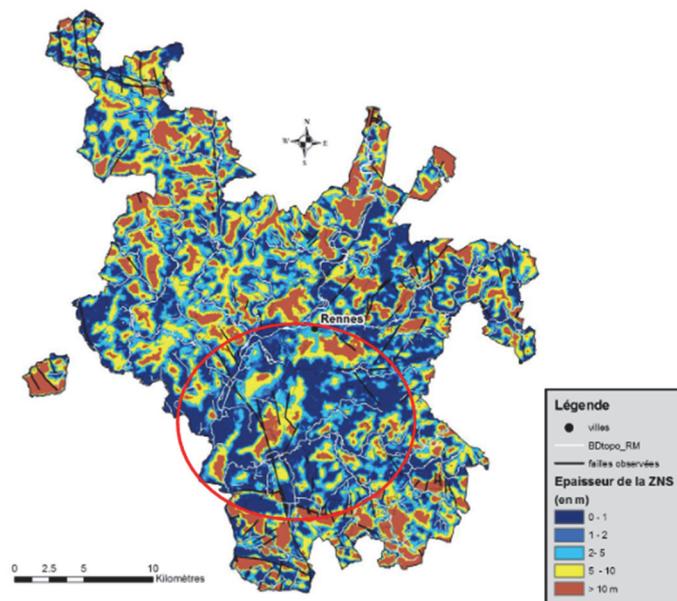


Illustration 10 : Grille au pas de 25 m de l'épaisseur de la zone non saturée sur le territoire de Rennes Métropole (Pinson et al., 2019).

3.1.5. Module 1.5 : Prévisions saisonnières

En raison du changement climatique, les besoins de projection de l'évolution des ressources en eau sont accrus. Ces besoins de projection interviennent à différentes échelles de temps et d'espace. En Bretagne, où les aquifères sont dominés par des cycles annuels, il est nécessaire de prévoir l'évolution des ressources à l'échelle saisonnière pour une réactivité opérationnelle (par exemple : prise d'arrêtés sécheresse, gestion de la ressource en eau potable, respect des débits minimums biologiques), mais aussi à plus long terme pour anticiper les besoins et la vulnérabilité. Les outils nécessaires pour ces projections à différentes échelles de temps peuvent varier.

La capacité limitée et la vidange naturelle des aquifères entraînent des remplissages et des vidanges à haute fréquence. Cela limite d'une part la possible surexploitation à long terme des aquifères et l'effet cumulatif des sécheresses, mais d'autre part, cela implique une gestion dynamique annuelle avec une capacité tampon plus limitée que dans d'autres régions dotées de vastes aquifères.

Pour les projections saisonnières, différents outils de modélisation et statistiques sont développés. Pour les eaux souterraines, l'outil MétéEAU Nappes (Mougin et al., 2023) produit des projections par modélisation des niveaux de nappe au travers différents scénarios. Actuellement, un seul piézomètre est opérationnel au niveau régional (Rosporden). Toutefois, il est possible d'équiper et de rendre opérationnels les piézomètres restants du réseau régional. Un projet en ce sens pour l'équipement de 25 piézomètres est proposé en Annexe 4 (P5). Concernant les débits des cours d'eau, le projet CYDRE (Cornette et al., *in prep*) produit des projections d'évolution de débits de cours d'eau pouvant aller jusqu'à 120 jours en se basant sur les concepts de similarités entre les bassins et l'analyse statistique des événements passés. 80 stations de jaugeage sont intégrées à l'échelle régionale. Concernant ces projections saisonnières, les principaux développements nécessaires portent sur la représentativité spatiale des informations et sur les périodes de recharge qui, contrairement aux périodes d'étiage restent plus difficiles à représenter. Les synergies entre les différents systèmes d'information restent aussi à développer.

3.1.6. Module 1.6 : Projection et changement climatique

Pour une projection à plus long terme, des modélisations sont utilisées pour anticiper l'évolution des ressources en eau, notamment dans un contexte de fortes incertitudes liées aux scénarios climatiques, afin d'évaluer la résilience du territoire face à des événements potentiellement plus importants.

À l'échelle de la région, les principaux modèles de projections utilisés, notamment dans les projets AQUIFR² et Explore 2, sont des modèles à réservoir qui produisent des projections au niveau des stations de jaugeage, mais pas au niveau de l'ensemble du territoire. Avec ce type de modélisation, il n'est pas possible de réaliser des discrétisations au sein d'un bassin et il n'est pas possible non plus de modéliser des bassins non jaugés.

Le contexte géologique, caractérisé par une forte hétérogénéité des propriétés hydrodynamiques et des bassins versants indépendants du point de vue hydrogéologique, mais connectés du point de vue de la gestion des ressources en eau, nécessite le développement de méthodologies de modélisation pour être paramétrées et utilisées à l'échelle régionale (notamment sur les bassins non jaugés). Dans cette optique, des modèles pouvant être paramétrés à l'échelle régionale sont en cours de développement et ont été appliqués sur une partie du territoire (Abhervé, 2022 ; Cornette, 2022 ; Courtois, 2019 ; Marçais, 2018). Ces modèles permettent de représenter les spécificités physiques des milieux et doivent permettre à terme un déploiement à l'ensemble du territoire.

Le développement de ces modèles et des stratégies de paramétrisation de ceux-ci (ou comment renseigner les modèles) est un défi majeur pour une gestion à long terme et intégrée. Ainsi, plusieurs projets de recherche ont été déposés récemment sur ces thématiques (consortiums des universités de Rennes, Neuchâtel, Nice, Bâle, BRGM, INRAe). Ils ne font donc, pas l'objet d'une fiche projet dans ce document.

Ces modèles, qu'ils soient saisonniers ou à long terme, pourront ensuite servir de données d'entrée pour la réalisation de modèles de gestion de l'eau potable (présentés dans l'axe 2).

3.1.7. Module 1.7 : Besoins des milieux

L'évaluation des besoins des milieux est en dehors du périmètre de cette synthèse car elle est liée en grande partie aux besoins biologiques de la faune et de la flore. Toutefois, l'évaluation et le respect de ces besoins sont d'une importance primordiale pour une gestion de l'eau à l'échelle régionale. Bien que l'évaluation des besoins ne soit pas en lien direct avec les eaux souterraines (objet de cette synthèse), les connaissances sur le grand cycle de l'eau doivent permettre de respecter les besoins et les objectifs pour le maintien de conditions propices à la faune et la flore, notamment en lien avec les zones humides. De plus, si les besoins quantitatifs sont souvent pris en compte, les besoins qualitatifs le sont souvent moins. Les risques pour les milieux peuvent provenir de l'évolution des paramètres physico-chimiques, de la concentration des polluants, la baisse de l'oxygène dissous... Parmi ces risques qualitatifs, les évolutions de la température des cours d'eau, dues à la baisse des débits et à l'augmentation des températures, restent peu connues. Les eaux souterraines, par leurs apports aux rivières, peuvent tamponner ces hausses de température et créer des refuges pour les espèces. L'importance de ces phénomènes n'est actuellement pas quantifiée à l'échelle régionale dans un contexte de socle.

² <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/agir/espace-documentaire/plateforme-modelisation-hydrogeologique-nationale-aqui-fr>

L'évaluation de la capacité des eaux souterraines à maintenir la thermie des cours d'eau et à agir comme zone refuge nécessiterait d'être investiguée. Une proposition de projet (appelé P6) est fournie en Annexe 4.

3.1.8. Module 1.8 : Impact anthropique sur les milieux

L'impact anthropique sur le cycle de l'eau se manifeste sur l'ensemble du territoire à travers des prélèvements et des aménagements tels que les retenues, les plans d'eau et la suppression des haies bocagères. Ces interventions peuvent entraîner des modifications des vitesses d'écoulement et une répartition différente des volumes en jeu.

Face à une ressource devenue plus limitée, différentes solutions sont envisagées. Toutefois, ces solutions ne sont pas toutes bien documentées quant à leurs impacts. Les études les plus accessibles concernant l'évaluation des prélèvements sont menées à des échelles larges, alors que les impacts des prélèvements, notamment ceux liés aux forages souterrains, sont souvent locaux. L'estimation locale de l'impact des prélèvements sur les cours d'eau peut être complexe à déterminer (Mougin et al., 2024). Les prélèvements ont des impacts directs à proximité des ouvrages, mais ils ont également des impacts indirects puisque les volumes prélevés ne se retrouveront pas à terme dans les cours d'eau. Entre ces deux effets, il peut y avoir un décalage temporel important, allant de quelques mois à plusieurs années.

La généralisation des conclusions des études locales d'impact des prélèvements sur les cours d'eau nécessite une bonne connaissance géologique, notamment sur les stocks et les propriétés hydrodynamiques, ainsi que sur l'horizon d'altération (Module 1.1), la dynamique des ressources (Module 1.2) et les échanges entre nappes et rivières (Module 1.3). Ces questions peuvent être investiguées par des mesures de terrain et des modélisations analytiques ou numériques.

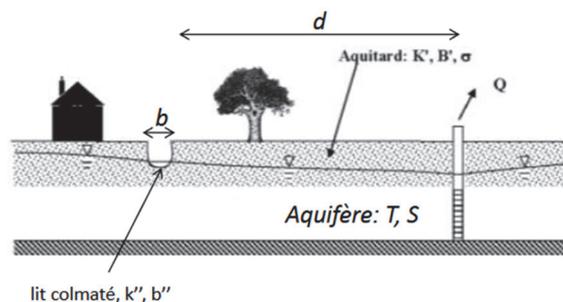


Illustration 11 : Cours d'eau avec lit colmaté incisant partiellement une couche géologique imperméable (aquitard) de surface (Hunt, 2003).

3.1.9. Module 1.9 : Actions de résilience et adaptation

À l'échelle des territoires tels que les bassins versants, différentes actions visant à améliorer la résilience du territoire sont envisagées pour ralentir le cycle de l'eau, telles que le retrait des drains agricoles, la remise en place du bocage, la recharge artificielle des nappes et la mise en place de solutions fondées sur la nature.

Des actions de renaturation des milieux, comme les zones humides, sont en cours (ex : la Quincampoix – affluent de la Seiche) sur le territoire, mais l'évaluation de leurs impacts reste peu quantifiée par rapport aux moyens investis. De même, les demandes de stockage à travers des retenues augmentent au niveau national et devraient probablement augmenter au niveau régional, notamment dans le Morbihan pour l'irrigation légumière. Cependant, la connaissance

sur l'état des lieux régional des retenues existantes en Bretagne est encore lacunaire, de même que l'évaluation des besoins futurs. Par ailleurs, aucune estimation de leur impact n'existe à l'échelle régionale.

Différentes études ont déjà été menées localement sur certains territoires (Projet Etrez - (Dausse, 2023) ; zone atelier Armorique – Pleine fougères) sur ces actions. Un besoin de synthèse à l'attention des décideurs est nécessaire pour mettre en place une vision partagée et scientifiquement quantifiée. Des évaluations locales de ces différentes actions sont nécessaires pour évaluer leur intérêt ou leurs impacts, qu'ils soient positifs ou négatifs. L'évaluation des gains et coûts environnementaux de ces actions constitue un levier pour leur mise en place.

La généralisation des conclusions de ces études nécessite une bonne connaissance géologique et de l'horizon d'altération (Module 1.1), sur la dynamique des ressources (Module 1.2) et des échanges nappes-rivières (Module 1.3).

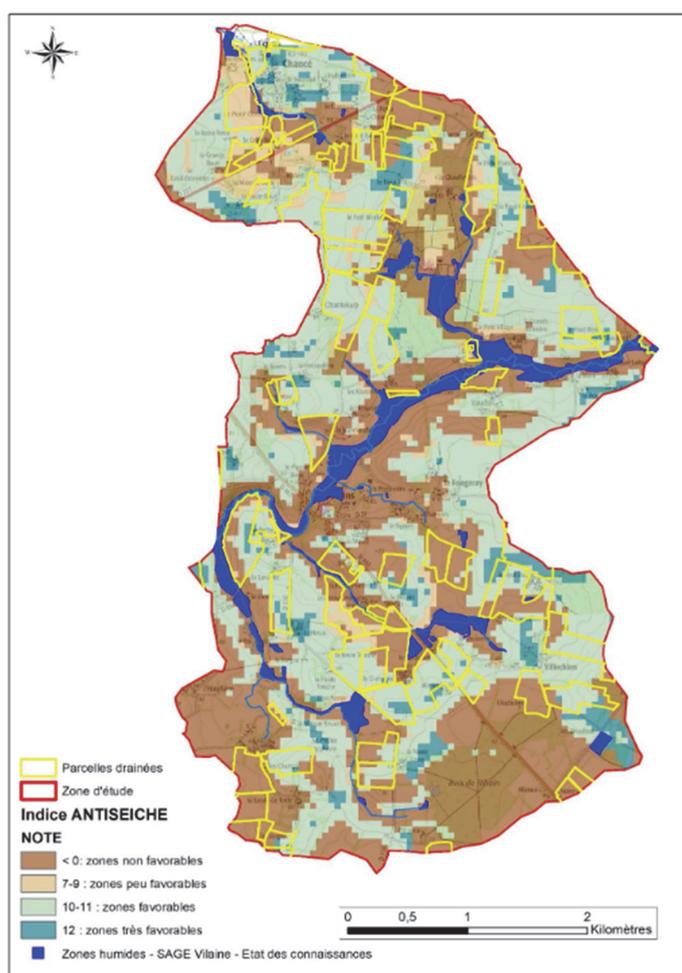


Illustration 12 : Superposition de la cartographie de l'indice ANTISEICHE, des zones humides et des parcelles drainées.

3.1.10. Module 1.10 : Hydro(géo)logie urbaine

Les villes ont un impact fort sur le cycle local de l'eau, notamment par l'imperméabilisation des sols, la redirection des eaux vers un nombre d'exutoires limité. Les aménagements des zones urbaines doivent maintenant prendre en compte les capacités des sols à infiltrer les eaux pluviales mais de manière plus globale la multifonctionnalité des sols. Afin de mieux répondre à cette question, Rennes Métropole et le BRGM se sont associés dans le cadre du projet de recherche QuaSoZAN (Le Guern et al., 2025) pour mieux prendre en compte la qualité des sols dans la planification urbaine. L'infiltrabilité estimée des sols a été une des quatre fonctions étudiées. Le projet a entre autres, abouti à l'établissement d'une carte de la multifonctionnalité des sols (par notation des quatre fonctions). Le projet QuaSoZAN a pu utiliser la carte de l'épaisseur de la zone non saturée (Illustration 10) dressée par le BRGM, dans le cadre du projet Phoebus (Pinson et al., 2019). D'autres actions de suivi et de développement de connaissances sont en cours sur le territoire avec notamment le service national d'observation SNO Observil – Rennes. Illustration 10

3.1.11. Module 1.11 : Evènements extrêmes

Les projections climatiques, si elles restent incertaines sur le long terme concordent tout de même sur une augmentation de la fréquence et de l'amplitude des évènements extrêmes. Qu'ils soient humides (fortes précipitations, inondations) ou secs (sécheresses très intenses et longues), ces évènements extrêmes peuvent avoir des conséquences majeures sur les espèces et les activités humaines. Si les inondations sont prises en compte dans la planification des risques (ex : PAPI), les impacts indirects des sécheresses semblent peu pris en compte, tout comme les risques qu'ils peuvent engendrer notamment pour l'approvisionnement AEP. Finalement, l'augmentation de fréquence des évènements extrêmes et leur impact sur le cycle de l'eau et les milieux est actuellement peu connu.

3.2. AXE 2 : PRÉLÈVEMENTS ANTHROPIQUES, GESTION, SUIVI ET RÉSILIENCE

3.2.1. Module 2.1 : Données d'exploitation et prélèvements

L'importance de disposer de connaissances sur les prélèvements, que ce soit dans les eaux souterraines ou superficielles, par des données de suivi est un constat partagé par l'ensemble des acteurs de l'eau, tant à l'échelle régionale que locale. Cependant, les bases de données existantes sont incomplètes, disparates et la mise à disposition de l'information souffre d'un décalage temporel par rapport aux besoins opérationnels, comme en témoignent les difficultés rencontrées dans les études HMUC (Hydrologie-Milieus-Usages-Climat) par de nombreux territoires.

Les difficultés de collecte et lacunes dans les bases de données varient selon les secteurs d'activités. Concernant l'AEP, les volumes produits sont connus et suivis mais pas assez accessibles et disponibles à un pas de temps fin permettant un suivi précis. Si les volumes sont connus, les usages le sont moins. Par exemple, la demande en eau à usage agricole sur du réseau AEP est inconnue. De même, les volumes prélevés au travers de forages privés (domestiques) ne sont pas quantifiés.

Pour les prélèvements agricoles, les informations sont très limitées. Face à ce manque d'information, différentes études ont tenté de quantifier les prélèvements en utilisant les données de cheptel (tel que l'étude sur la gestion quantitative de la ressource en eau en Bretagne, proposée par la DDTM22 et commandée par le DREAL (CACG, 2021)), les déclarations de

forages à l'échelle régionale (Lucassou et al., 2020) ou locale (Boisson et al., 2019). Or, ces études révèlent de très fortes disparités entre les données bancarisées dans les bases accessibles (ex : BNPE) et les volumes prélevés estimés.

Le risque de report des volumes prélevés par des forages agricoles vers le réseau AEP pour des raisons de baisse de productivité de ces ouvrages lors de sécheresses, de problèmes de qualité (polluants, intrusions salines (Boisson et al., 2019)) ou de changements de pratiques liés à des modifications de cahiers des charges ou des aspects pratiques, sont également à prendre en compte. Des tests préliminaires d'évaluation de ces différents paramètres ont été réalisés dans le cadre du projet "Eau pour demain" (Boisson et al., 2023) pour évaluer le risque de report en raison de la baisse de niveau des nappes en périodes de sécheresse.

Les verrous sur cet axe sont principalement économiques (coût important de la mise en place de suivi) et structurels (disparité des acteurs), avec la nécessité de mettre en place des méthodes de validation des données acquises, la bancarisation, l'accessibilité des données, leur diffusion et leur partage qui, outre les aspects techniques, peuvent également faire face à une réticence des acteurs (projet Prélèveau - (Pinson et al., 2023)).

Les principes de FAIRisation des données (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable / Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable), de plus en plus développés dans le milieu académique, nécessitent d'être appliqués plus largement à la collecte des données.

3.2.2. Module 2.2 : Projection et vigilance

Les récentes sécheresses, comme celle de 2022, les pollutions majeures des ressources (ex : Aulne 2020), ainsi que des ruptures sur le réseau (ex : Ergué-Gabéric 2021, 2024) ont mis en évidence la vulnérabilité du réseau d'approvisionnement en eau potable dans certains territoires. De nombreux facteurs de risque existent à l'échelle régionale, rendant la gestion complexe en raison de la multiplicité des risques et des acteurs impliqués. Bien que les réseaux d'interconnexion aient, dans de nombreux cas, permis de répondre aux besoins de répartition de la production d'eau, des sollicitations répétées sur certaines ressources peuvent engendrer des difficultés, voire des ruptures d'approvisionnement. Le nombre croissant de dérogations aux débits réservés des cours d'eau au droit des ouvrages, illustre cette vulnérabilité et montre que le maintien d'un service de qualité, en période de sécheresse, peut avoir des conséquences négatives sur les milieux naturels.

Parmi les projets récents, *De l'Eau pour Demain* (Boisson et al., 2024) a mis en avant la vulnérabilité de l'approvisionnement en eau dans le Finistère, en raison d'une baisse de productivité de nombreux sites (principalement des puits), qui se reportent sur une ressource unique, l'Aulne. Cela a parfois conduit à des exploitations en dessous des débits objectifs d'étiage. Le projet *Water for Tomorrow* (Bourgeois et al., 2023) par une approche de co-construction avec les acteurs locaux, a permis de quantifier l'impact de certaines mesures visant à améliorer la résilience du territoire face aux sécheresses, aux ruptures et aux pollutions. Ce projet a également démontré l'importance d'une prise de décision concertée entre les acteurs du territoire et souligné la nécessité d'un partage d'informations efficace.

Des outils de suivi, de reporting, de quantification des risques, ainsi que des outils de projection des ressources exploitées semblent donc nécessaires dans de nombreux territoires. De plus, le report des petites unités de production se fait généralement vers les grandes ressources, notamment les barrages. Or, l'étude menée sur le barrage de la Chèze-Canut (Abhervé, 2022), montre que les difficultés de remplissage des barrages pourraient s'accroître dans le futur, rendant impossible la satisfaction de toutes les demandes.

Ces différents projets démontrent que, pour sécuriser l'approvisionnement en eau potable, de nombreux développements techniques sont nécessaires. Cela inclut la création d'outils de suivi et de projection, ainsi que la mise en place de mécanismes de coopération et d'anticipation des crises entre les acteurs locaux. Il est désormais possible de transposer les modélisations réalisées sur les ressources naturelles vers les ressources exploitées. Cela peut être réalisé à l'échelle d'un site d'exploitation spécifique, mais aussi à l'échelle de plusieurs sites afin d'évaluer les phénomènes de report sur certaines ressources. Un projet dans ce sens est proposé en Annexe 4 (Projet P7). Celui-ci pourrait ensuite évoluer vers des outils de gestion plus complexes (Module 2.5).

3.2.3. Module 2.3 : Nouvelles ressources

Les ressources superficielles sont fortement exploitées à l'échelle régionale et représentent 76 % de l'alimentation en eau potable. Les barrages sont l'une des principales sources de production pour cette alimentation. Bien que l'objectif soit de réduire les consommations, les projections climatiques prévoient une augmentation des sécheresses, impactant de fait la disponibilité de la ressource à certaines périodes de l'année, et une augmentation de l'évapotranspiration par ailleurs, ajoutant une pression sur celle-ci. Ces évolutions à venir laissent entrevoir des périodes pour lesquelles, il sera de plus en plus difficile de concilier le maintien de ces débits réservés et la satisfaction de l'ensemble des usages, y compris les besoins des milieux. Les demandes de dérogations à ces débits sont de plus en plus fréquentes. Par ailleurs, une étude récente sur le barrage de la Chèze-Canut (Abhervé, 2022), projette une augmentation des difficultés à remplir ce barrage chaque année. Ces sources d'approvisionnement ne doivent pas rester des solutions quasi-unicas, et des alternatives doivent être recherchées.

Les eaux souterraines, moins sollicitées du fait de leur productivité plus limitée, peuvent offrir un supplément ou des réserves complémentaires en cas de crise. Elles peuvent provenir de petits bassins sédimentaires, fortement utilisés en Ille-et-Vilaine, notamment. Les études récentes (projets ICARE et ICARE 35 ; (Boisson et al., 2021 ; Lucassou et al., 2023b)) ont montré que les connaissances sur les bassins sédimentaires exploités étaient limitées et anciennes (datant des années 70 et 80). Une mise à jour de ces connaissances, avec de nouvelles acquisitions de données, pourrait permettre d'optimiser la gestion de ces ressources.

Concernant les aquifères de socle, bien que des sites de production importants existent (ex : Ploemeur), ils sont peu nombreux. L'une des difficultés pour trouver des sites productifs réside dans l'hétérogénéité des milieux. Ces dernières années, différents projets, dont SILURES (Mougin et al., 2008), ont permis d'estimer les capacités des milieux en fonction des lithologies. Plus récemment, le projet ANAFORE (Schroëtter et al., 2020) a permis d'identifier les directions de fracturation et les configurations favorables à l'implantation de forages. Ces études permettent une meilleure compréhension des milieux et facilitent potentiellement l'identification de sites productifs.

Enfin, d'autres types de ressources alternatives peuvent être envisagés. Récemment, l'utilisation des carrières pour l'AEP a été étudiée et a montré un fort potentiel pour certains sites (Lucassou et al., 2023a).

Pour améliorer la résilience de l'approvisionnement, l'utilisation de ressources complémentaires semble nécessaire. Compte tenu du temps requis pour leur mise en exploitation, des études doivent être rapidement lancées pour assurer la sécurisation de l'approvisionnement.

3.2.4. Module 2.4: Bilans-Besoins-Ressources

L'estimation des bilans besoins ressources à l'échelle régionale mais aussi locale, celle des bassins versants, est essentielle pour une gestion durable des ressources et des milieux. Actuellement ces bilans sont très difficiles à réaliser à la fois en raison du manque de connaissances sur le volet besoins et sur le volet ressources.

Le volet besoins comprend à la fois les besoins anthropiques et les besoins des milieux. Les besoins des milieux restent peu quantifiés et fortement dépendant du contexte local. Des recommandations méthodologiques ont été réalisées pour l'estimation des débits minimums biologiques (Baran et al., 2015) mais restent insuffisants en comparaison de l'ensemble des besoins et les spécificités des territoires.

Les besoins anthropiques qui comprennent les besoins de prélèvements pour l'alimentation en eau potable, pour l'agriculture et les activités industrielles sont aussi relativement peu documentés. Les prélèvements agricoles sont peu connus et peu suivis. Les estimations sont actuellement réalisées en fonction du cheptel pour l'élevage couplé à des hypothèses de répartition. Pour l'irrigation de nombreux forages ne sont pas suivis et ne sont pas documentés. Pour les forages suivis et référencés par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, qui correspondent aux plus gros préleveurs, les bases de données sont annuelles et ne sont pas assez rapidement actualisées pour être exploitables d'un point de vue opérationnel. Le manque de complétude des bases de données est aussi avéré. Pour les besoins AEP, les volumes prélevés dans le milieu sont connus mais restent souvent peu accessibles. En revanche, la connaissance de leur utilisation et leur répartition par typologie d'acteurs (domestique, agricole, industriel) reste peu connue. De ce fait, les projections futures sont complexes à prévoir (Rivallan et al., 2022).

Les prélèvements industriels sont influencés par le contexte économique et produisent des effets périodiques lors de l'installation de nouveaux acteurs (Rivallan et al., 2022). Les besoins agricoles sont en partie comblés par des forages privés qui sont mal déclarés par les exploitants et qui peuvent en cas de sécheresses se reporter sur le réseau AEP pouvant considérablement augmenter ponctuellement les besoins sur un territoire. Une évaluation des prélèvements en eaux souterraines a été réalisée dans le cadre du SIGES Bretagne (Lucassou et al., 2020 ; Mougin et al., 2013) en se basant sur les forages existants et montrait de fortes divergences avec les bases de données disponibles. Or, la connaissance de ces prélèvements nécessite d'être anticipés pour éviter les ruptures ou difficultés d'approvisionnement.

L'aspect ressources nécessite d'être investigué tel que proposé avec les modules 1.1 à 1.7 mais en prenant en compte l'aspect besoins. En effet, des ressources, telles que l'eau stockée dans les barrages est dépendante des capacités de remplissage mais aussi des besoins de soutien d'étiage et de prélèvements. Or, ces éléments ont souvent été considérés indépendamment, par des acteurs différents, limitant ainsi les capacités de vision intégrative.

Actuellement, ces équilibres sont estimés sur une partie du territoire à l'échelle des territoires de SAGE, au travers des études HMUC (hydrologie, milieux, usages, climat). Cependant, ces études rencontrent les difficultés mentionnées précédemment concernant la disponibilité des données et le suivi des ressources hors AEP. De plus, ces études sont basées sur des méthodologies différentes. Ce manque d'homogénéité entre les territoires rend difficile les comparaisons au niveau régional. Un travail d'homogénéisation des méthodes et des résultats est ainsi nécessaire pour, à la fois permettre une évaluation de la complétude des études, mais également permettre une vision régionale. Les études régionales disponibles montrent les mêmes limites (CACG, 2021).

Dans l'évaluation des équilibres besoins-ressource, la prise en compte de la saisonnalité des équilibres est essentielle, particulièrement dans les milieux très réactifs tels que les aquifères de socle. Or, sur les prélèvements, la majorité de l'information est collectée sur une base annuelle.

3.2.5. Module 2.5 : Outils de gestion et d'information mutualisés

Les bilans besoins-ressources réalisés ou en cours de réalisation sont, dans la majorité des cas, basés sur des rendus statiques tels que des rapports ou des états des lieux à un moment donné. Leur utilisation repose sur la connaissance des acteurs et leur capacité à les adapter à des situations en constante évolution. Dans une optique de gestion opérationnelle et réactive des ressources en eau, dont le besoin est de plus en plus pressant, ces types de rendus présentent de nombreuses limites. Les avancées techniques, à travers des outils de suivi et les capacités de développement d'outils numériques adaptés, permettent désormais de produire des outils informatifs et réactifs capables de répondre à plusieurs usages.

Ce type d'outils existe déjà pour le suivi et la projection du niveau des nappes (MétéEAU Nappes - (Mougin et al., 2024)) et pour le débit des cours d'eau (Cydre ; Cornette et al., *in prep*). Ces outils peuvent être couplés aux contraintes d'exploitation. De nombreuses possibilités existent en fonction du niveau de développement, pouvant aller de la transposition de l'impact des ressources naturelles sur les ressources exploitées, ou de modèles hydro-économiques intégrant à la fois les capacités des ressources naturelles et de celles des infrastructures.

Historiquement, les acteurs du grand et du petit cycle de l'eau étaient distincts, et à l'échelle régionale, les suivis restaient peu connectés entre les deux. Des évolutions sont en cours, et il est maintenant possible de concevoir et de développer des outils liant le petit et le grand cycle. Une initiative a été mise en place dans le Finistère dans le cadre du projet "Water For Tomorrow" (Bourgeois et al., 2023), où un modèle hydro-économique a été élaboré. Ce modèle permet de simuler différents scénarios de gestion en prenant en compte les ressources naturelles, les ressources exploitées, ainsi que les infrastructures et leurs capacités. Ce type de modèle présente plusieurs avantages : 1) il peut être rendu opérationnel et réactif pour une gestion efficace des ressources, 2) au-delà de l'utilisation du modèle, il s'agit de sa construction. En effet, la réalisation d'un tel outil nécessite de nombreuses informations et échanges entre les acteurs, ce qui, dans une démarche de co-construction, aboutit à une mutualisation des informations.

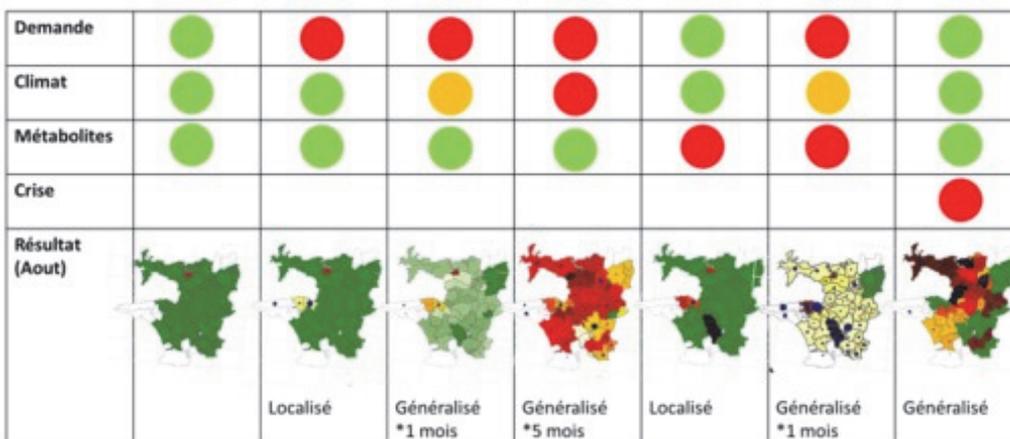


Illustration 13 : Exemple de résultats de modélisation spatialisant et quantifiant le risque de défaillance de l'approvisionnement en eau potable face à différents scénarios (Bourgeois et al., 2023).

Ce type d'outils peut être développé à différentes échelles et avec différents niveaux de complexité selon les territoires. La construction de tels outils permet d'identifier les manques de données et de les combler. Ils facilitent également l'utilisation des données existantes. Cette exploitation des données constitue un levier important pour améliorer la collecte de nouvelles informations et pour l'amélioration de celles-ci, une donnée utilisée étant mieux vérifiée. Ces outils permettent aussi d'identifier les vulnérabilités des systèmes et d'anticiper les risques. Ils peuvent aussi être utilisés pour prioriser les investissements et quantifier leurs impacts.

3.2.6. Module 2.6 : Consommations

Tel que mentionné dans la section 3.2.4 – Module 2.4, les connaissances des consommations restent parcellaires à la fois pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques. Le projet *De l'Eau pour Demain* réalisé par les syndicats d'eau potable de la région (SDAEP22, Eau du Morbihan, SMGEau35), le conseil départemental du Finistère et le BRGM a montré le besoin de suivi local et d'amélioration des connaissances pour une gestion de la ressource (Rivallan et al., 2022). Le suivi des consommations est essentiel et des actions d'amélioration sont en cours (Benejean et al., 2023 ; Jehanno et al., 2023).

A termes, le suivi des consommations permettra d'établir une répartition précise de l'ensemble des usages, tout en les liant aux besoins et aux ressources des territoires. Cela facilitera la projection des évolutions de consommation, un domaine actuellement très spéculatif, comme en témoigne le besoin de renouveler régulièrement les prévisions. De plus, ce suivi est crucial pour évaluer l'impact potentiel des arrêtés sécheresse. Toutefois, compte tenu de la qualité actuelle de ce suivi, même si d'importantes actions sont en cours pour son amélioration, la réalisation de bilans précis à l'échelle régionale demeure complexe. Néanmoins, une amélioration significative des connaissances semble envisageable grâce à des approches croisées, alliant estimations déterministes et statistiques, en les couplant avec des méthodes socio-économiques. Ce point de connaissance concernant les consommations d'eau potable est essentiel à l'échelle régionale, même s'il n'est pas spécifiquement lié aux eaux souterraines.

3.2.7. Module 2.7 : Rejets anthropiques

Le dérèglement climatique et la diminution pressentie des débits des cours d'eau pose la question de l'impact des rejets des stations d'épuration des eaux usées (STEP) sur les cours d'eau, car les rivières, souvent utilisées pour diluer et évacuer les eaux usées, risquent de ne pas pouvoir accueillir ces rejets en quantité suffisante interdisant ainsi les rejets. Ces situations ont déjà été observées en Bretagne et le risque de les voir plus fréquemment augmente. Par opposition, certains rejets ont aussi un rôle important sur le soutien des étiages.

De plus, des conditions hydrologiques extrêmes, comme des crues, pouvant elles aussi devenir plus fréquentes, peuvent perturber le fonctionnement des STEP, compromettant leur capacité à traiter efficacement les eaux usées et augmentant les risques de contamination des ressources en eau. Il devient donc important d'anticiper les risques, voire d'adapter les infrastructures et les pratiques de gestion de l'eau pour faire face à ces défis croissants liés au changement climatique.

3.3. AXE 3 : QUALITÉ DE L'EAU

3.3.1. Module 3.1: Qualité et milieu naturel

Historiquement, les études sur la qualité des eaux en Bretagne ont porté principalement sur les pollutions diffuses dont les nitrates. Ces études comprennent la réalisation d'états des lieux régionaux (Blum et al., 2006), l'identification des sources (Widory et al., 2004, 2001), la mise en place de réseaux de suivi (Lucassou et al., 2018), les mécanismes de dénitrification (Boisson, 2011 ; Boisson et al., 2013 ; Kolbe, 2017 ; Kolbe et al., 2019 ; Pauwels et al., 1998), l'identification des temps de transfert et leur évolution (Baran et al., 2011, 2009 ; Kolbe, 2017 ; Vautier, 2019). Ces estimations des temps de transfert s'appuient notamment sur la datation des eaux par les CFC (Aquilina et al., 2012 ; Ayraud, 2005) et plus récemment par la silice (Marçais, 2018 ; Marçais et al., 2018). Des travaux complémentaires ont aussi porté sur l'efficacité de certaines mesures de reconquête de la qualité (Boisson et al., 2018).

La qualité des eaux souterraines reste un sujet d'actualité. Les suivis de la qualité des eaux réalisés montrent que malgré une amélioration globale de la qualité vis-à-vis des nitrates, les concentrations restent importantes sur certains territoires. D'autres pollutions des eaux souterraines, notamment celles liées aux pesticides et à leurs métabolites, existent et deviennent de plus en plus importantes. L'émergence des PFAS est aussi un sujet majeur de préoccupation. En raison de leur persistance et des temps de transfert longs dans les eaux souterraines, l'identification des sources et les actions de prévention doivent être réalisées avant leur arrivée dans le milieu naturel.

Les études hydrogéologiques peuvent apporter des éléments de compréhension sur les sources, les temps de transfert, l'atténuation ou le stockage des contaminants dans les sols et les aquifères, les interactions avec les eaux de surface, notamment dans un contexte de restauration des zones humides (Dausse, 2023). Les possibilités de traitement une fois les contaminations installées sont en revanche très limitées.

3.3.2. Module 3.2: Qualité AEP

La qualité des eaux souterraines utilisées pour l'eau potable est régulièrement suivie par l'ARS. Les analyses régionales, élargies en 2021 à une liste plus complète de molécules, révèlent qu'en cette même année, 39,7 % de la population bretonne a été ponctuellement desservie par une eau non conforme en termes de pesticides (eaux souterraines et de surface). La présence de pesticides dans les eaux constitue donc un problème majeur en Bretagne. Des initiatives expérimentales visant à réduire cette pollution ont été mises en place dans certains territoires (Pansard, 2021), mais la situation reste difficile à contrôler.

Les actions à envisager pour améliorer la qualité de l'eau destinée à l'alimentation en eau potable incluent l'instauration de périmètres de protection, les programmes d'action dans les aires d'alimentation de captages (AAC), l'identification des sources de pollution et la réduction des sources de contamination. Étant donné les temps de résidence prolongés des contaminants dans les eaux souterraines, les actions les plus efficaces doivent être mises en œuvre en amont, avec la prévention de la contamination des aquifères par une gestion appropriée de l'utilisation des sols, et en aval, par des traitements adéquats de l'eau.

D'un point de vue hydrogéologique, les actions pourraient porter sur l'identification précise des sources de pollution, la compréhension des mécanismes de contamination, l'estimation des temps de transfert et la projection de l'évolution des concentrations des polluants présents. Ces connaissances fourniront des éléments clés pour prendre des décisions permettant de maintenir ou de retrouver une eau de qualité pour les populations.

3.3.3. Module 3.3 : Intrusions salines

Avec plus de 2 700 kilomètres de linéaire côtier, la Bretagne est sujette aux risques intrusions salines et aux phénomènes de rentrants salés via les estuaires. Les risques d'intrusions sont fonction de la géomorphologie de la côte et de sa nature (Schroëtter and Blaise, 2015) mais aussi des activités humaines. En conditions stationnaires, la position du biseau salé est fonction d'un équilibre hydrostatique lié à la différence de densité entre l'eau douce et l'eau de mer (Illustration 14). Cependant, celui-ci est influencé par les précipitations via la recharge des nappes, le niveau de la mer et les activités anthropiques via les pompages. A l'échelle régionale, les problèmes liés aux intrusions salines ont peu été identifiés jusqu'à présent en raison de données disponibles limitées sur le territoire (Lucassou et al., 2019). Cependant, lorsque disponibles, les données locales en zones côtières montrent régulièrement la présence de signaux d'intrusions salines (Boisson et al., 2019). Si la présence de salinisation des eaux est principalement liée, sur la côte, à l'interaction directe et actuelle avec la mer, des salinisations anciennes ont aussi eu lieu sur le territoire (Aquilina et al., 2015 ; Armandine Les Landes, 2014 ; Armandine Les Landes et al., 2015).

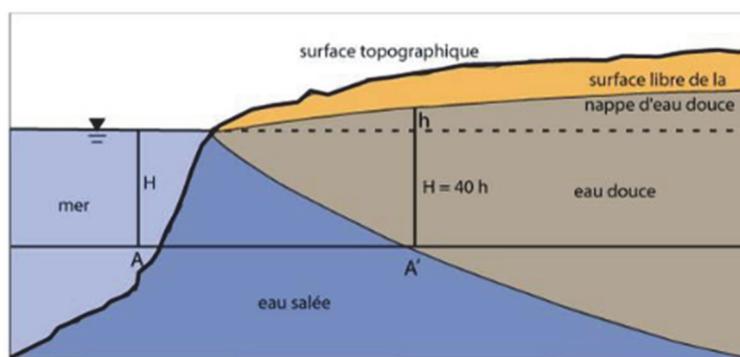


Illustration 14 : Coupe schématique perpendiculaire au littoral selon Ghyben-Herzberg (Extrait de Frissant et al., 2005).

Le risque d'une évolution des intrusions salines, qu'il soit d'origine naturelle ou anthropique, est actuellement probablement sous-estimé à l'échelle régionale. Les intrusions salines étant des situations quasi-irréversibles, il est essentiel de les prévenir avant qu'elles ne surviennent. Dans les situations où les pompages sont en partie responsables de ces intrusions, ils peuvent notamment mettre en péril les activités économiques (Boisson et al., 2019). Le changement climatique peut modifier les interactions et équilibres entre eaux douces et eaux de mer. L'élévation du niveau de la mer, la diminution de la recharge, l'augmentation des submersions marines et l'augmentation des pompages peuvent avoir des effets sur ces équilibres. La nature hétérogène des milieux cristallins bretons rend par ailleurs, complexe l'identification des intrusions et leur évolution.

Sur cette thématique, différentes actions peuvent être mises en place. Il est proposé, dans un premier temps, d'investiguer de façon théorique l'évolution du biseau salé sous les évolutions de niveau de la mer, de recharge et de scénarios anthropiques via des modélisations numériques. Cet élément fait l'objet d'une fiche projet en Annexe 4 (projet P8). Il est aussi recommandé d'améliorer ponctuellement l'information locale en zone côtière pour permettre une quantification des risques, tel que préconisé par Lucassou et al., (2019) et la plaquette sur les forages littoraux éditée par le BRGM (https://sigesbre.brgm.fr/IMG/pdf/plaquette_forage_littoral_bretagne_2022.pdf). Sur certains sites identifiés, il serait ensuite possible de quantifier les intrusions, notamment grâce à des mesures géophysiques, pour une prise en compte de ces intrusions dans les milieux fissurés hétérogènes.

3.3.4. Module 3.4: Algues vertes

Les algues vertes en Bretagne sont un phénomène préoccupant depuis plusieurs décennies, notamment en raison de leur prolifération et leurs échouages sur les plages bretonnes. Ce phénomène est causé principalement par l'excès de nutriments (azote et phosphore), provenant en majorité d'usages agricoles, qui se déversent dans les cours d'eau, les nappes et atteignent la mer, dans des baies peu profondes et relativement fermées.

Différents projets ont été menés à l'échelle régionale, sur le diagnostic de la situation et la réactivité (Dupas et al., 2020), la mise en place de réseaux de suivi (Lucassou et al., 2018), la modélisation des temps de transfert et de la réactivité du milieu (Aquilina et al., 2021 ; Vautier, 2019). Ces éléments peuvent être modifiés dans un contexte de réchauffement climatique.

Sur cette thématique, des travaux restent à mener sur la compréhension et la quantification des phénomènes. Ces connaissances pourraient permettre de mieux cibler les zones d'action potentielles. Une évaluation de l'impact des mesures prises sur certains territoires est aussi essentielle. Ces actions seraient à mener d'un point de vue technique mais profiteraient grandement d'un couplage avec des projets de sciences humaines et sociales (SHS).

3.4. AXE 4 : GESTION ET GOUVERNANCE

L'ensemble des connaissances permettent au fur et à mesure de leur développement, d'améliorer la gestion de la ressource en développant les capacités de gouvernance et de gestion. Les **connaissances sur la structure du territoire** permettent les estimations des stocks d'eau disponibles (Module 1.1), qui peuvent être comparés aux prélèvements (module 2.1) et modulés par l'état actuel qualitatif des ressources (Module 3.1). L'apport des informations sur la dynamique des ressources en eau (module 1.2), sur les interactions nappes-rivières (module 1.3) et sur la zone non saturée (module 1.4) permet des projections saisonnières (module 1.6) et à plus long terme (module 1.7). Ils peuvent être couplés à la dynamique des prélèvements (module 2.2) et à la vulnérabilité des ressources exploitées (module 1.5), ce qui permet un suivi saisonnier de la ressource, une anticipation des difficultés et une gestion dynamique de celle-ci en permettant des choix de gestion éclairés. **Les connaissances des impacts des leviers possibles de gestion des ressources naturelles** telles que les évaluations des volumes prélevables, l'impact des stockages et retenues, de la recharge des aquifères et des solutions d'aménagement, mis en regard avec les équilibres besoins-ressources (modules 1.8 et 2.6) permettent faire des choix de développement des territoires. Une gestion efficace requérant une maîtrise approfondie des outils de gestion disponibles, un projet d'évaluation de l'impact des arrêtés sécheresse est proposé en Annexe 4 (appelé Projet P9).

Finalement, l'ensemble des informations disponibles grâce aux outils de suivi opérationnel des ressources (module 4.2) et aux outils de gestion intégrée des prélèvements (module 4.3) couplé à une bonne communication entre les acteurs (modules 4.1 et 4.4), permettent une gestion intégrée et concertée des ressources en eau.

4. Conclusions

Le panorama dressé dans le cadre de cette étude montre que les éléments pour aboutir à une gestion intégrée et assurer une résilience vis-à-vis des ressources en eau sont nombreux et comprennent aussi bien des besoins de connaissance, de développement technique que de communication auprès et entre les acteurs. Cependant, il montre aussi que les actions, les acteurs impliqués et les avancées sont tout aussi nombreux.

En fonction des thématiques, les verrous peuvent être de natures différentes. **Les verrous de l'axe 1 (ressources naturelles) sont principalement liés à la connaissance et à la compréhension du milieu.** Les modélisations et les capacités de projection sont des attentes fortes des acteurs de l'eau. Ces verrous peuvent, pour certains, être levés par des études opérationnelles relativement courtes, alors que, dans d'autres cas, cela relève de manques qui nécessitent des actions de recherche à plus long terme. **Les verrous de l'axe 2 (Prélèvements anthropiques) relèvent davantage de l'ordre de la gestion, de la communication et de la gouvernance.** Sur cet axe, relativement peu de verrous techniques importants existent, mais de nombreux développements méthodologiques (suivi, collecte de données, leur diffusion, développement d'outils) sont nécessaires. Par ailleurs, sur cet axe, l'évaluation de la consommation en eau reste très difficile. **Concernant l'axe qualité (Axe 3), les verrous sont à la fois techniques (connaissance et compréhension des processus, état des lieux des connaissances) et fortement politiques, notamment en ce qui concerne la question des intrants.** Les capacités de remédiation des eaux souterraines sont limitées, compte tenu des volumes et des temps de séjour importants. **Les verrous de l'axe 4 portent principalement sur la communication et les capacités d'information et d'échanges entre les acteurs.** Ces capacités sont limitées en partie par la collecte et l'accès aux données pertinentes. Ce verrou peut être levé par la formation des acteurs, la mise à disposition d'outils de communication accessibles et une amélioration de la collecte, de la validation et de la diffusion des données sur l'eau, tant sur les usages que sur les ressources.

Le panorama dressé, structuré sous forme de modules, montre que le travail sur une thématique permet des avancées sur d'autres. Cependant, cette structuration verticale n'est pas exclusive et il est possible de mener des actions en parallèle ou à des échelles différentes. Il est, par exemple, possible de développer des outils de gestion intégrée sans disposer de bases de données complètes à l'échelle régionale. L'effort de collecte de données peut être plus long, mais les démarches de co-construction locale présentent de nombreux avantages. De plus, des développements locaux peuvent encourager une meilleure acquisition, validation et diffusion des données. Bien que de nombreuses données soient collectées mais non utilisées, leur validation n'est pas systématique. Une utilisation régulière des données conduit généralement à une meilleure acquisition de celles-ci. Des actions, telles que l'amélioration des connaissances sur les échanges nappe-rivière, peuvent être longues et ne doivent pas empêcher d'autres actions locales. De même, la recherche de nouvelles ressources nécessite un temps conséquent qu'il convient d'anticiper et d'initier avec les connaissances déjà disponibles.

Les connaissances acquises améliorent et continueront d'améliorer progressivement la gestion des ressources en eau en offrant une meilleure évaluation des stocks disponibles et en intégrant des données sur les prélèvements et la qualité des ressources. Grâce aux projections saisonnières et à long terme, il devient possible de suivre l'évolution des ressources et de gérer leur utilisation de manière plus réactive. L'analyse des leviers de gestion, comme les volumes prélevés, les stocks existants et la recharge des aquifères, l'aménagement des territoires permet d'optimiser l'exploitation des ressources. Enfin, les outils de suivi opérationnel et de gestion intégrée, ainsi que la formation des acteurs, renforcent une gouvernance collective et concertée de l'eau.

En complément de ce rapport, plusieurs projets ont été proposés, détaillés dans les fiches annexes. Parmi eux figure l'harmonisation régionale des cartes géologiques (Projet – P1) afin de produire un référentiel actualisé qui servira de base à de nombreuses autres études. Concernant les ressources naturelles, des projets visent à suivre la recharge de manière spatialisée et adaptée aux besoins (P2), à surveiller et à projeter les niveaux d'eau souterraine en fonction des saisons (P5), et à anticiper les étiages grâce au réseau piézométrique (P3). Un projet de recherche à plus long terme sur les échanges nappe-rivière est également proposé (P4). Pour les ressources exploitées, l'objectif est de relier les capacités de production aux ressources naturelles afin d'anticiper les reports de prélèvements sur des ressources limitées, comme cela se produit lors des sécheresses (P7). En ce qui concerne la qualité de l'eau, si les pollutions diffuses et les pesticides restent prioritaires, deux projets complémentaires sur la thermie des cours d'eau (P6) et les intrusions salines (P8) ont été soumis. Pour la gouvernance, un projet de formation des acteurs et une évaluation de l'impact des arrêtés sécheresse (P9) sont également proposés.

Bien que les sciences humaines, économiques et sociales n'aient pas été abordées en détail dans ce rapport, leur contribution à la gestion régionale de l'eau est cruciale pour la communication, l'aménagement du territoire, l'acceptabilité des mesures prises et leur quantification. Elles peuvent être intégrées à de nombreuses thématiques, et leurs apports ne doivent pas être négligés.

5. Références

- Abhervé, R., 2022. Intégration du changement climatique dans la gestion de la ressource en eau : exemple du bassin rennais. Université de Rennes 1, Rennes.
- Aquilina, L., Guillaumot, L., Vautier, C., Guillou, A., Vergnaud, V., de Dreuzy, J.-R., Marcais, J., Durand, P., Dupas, R., 2021. Modélisation de la réactivité des aquifères dans les bassins algues vertes. Géosciences Rennes UMR6118.
- Aquilina, L., Vergnaud-Ayraud, V., Labasque, T., Bour, O., Molénat, J., Ruiz, L., de Montety, V., De Ridder, J., Roques, C., Longuevergne, L., 2012. Nitrate dynamics in agricultural catchments deduced from groundwater dating and long-term nitrate monitoring in surface- and groundwaters. *Science of The Total Environment* 435–436, 167–178. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.06.028>
- Aquilina, L., Vergnaud-Ayraud, V., Les Landes, A.A., Pauwels, H., Davy, P., Pételet-Giraud, E., Labasque, T., Roques, C., Chatton, E., Bour, O., Ben Maamar, S., Dufresne, A., Khaska, M., La Salle, C.L.G., Barbécot, F., 2015. Impact of climate changes during the last 5 million years on groundwater in basement aquifers. *Scientific Reports* 5, 14132. <https://doi.org/10.1038/srep14132>
- Armandine Les Landes, A., 2014. Impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques. Université de Rennes 1, Rennes.
- Armandine Les Landes, A., Aquilina, L., Davy, P., Vergnaud-Ayraud, V., Le Carlier, C., 2015. Timescales of regional circulation of saline fluids in continental crystalline rock aquifers (Armorican Massif, western France). *Hydrology and Earth System Sciences* 19, 1413–1426. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1413-2015>
- Ayraud, V., 2005. Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes (These de doctorat). Rennes 1.
- Baran, N., Gourcy, L., Lopez, B., Bourguin, B., Mardhel, V., 2009. Transfert des nitrates vers les eaux souterraines à l'échelle du Bassin Loire-Bretagne.
- Baran, N., Gutierrez, A., Lopez, B., Surdyk, N., Gourcy, L., 2011. Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne : Modélisation et datation. BRGM.
- Baran, P., Longuevergne, L., Ombredane, D., Dufour, S., Dupont, N., 2015. Débit Minimum Biologique (DMB) et gestion quantitative de la ressource en eau. CRESEB 124.
- Benejean, A., Jehanno, F., Cherpi, S., 2023. Observatoire des consommations - Outil de suivi de l'évolution des consommations d'eau en temps réel - Rapport Final. De l'Eau Pour Demain.
- Bense, V.F., Gleeson, T., Loveless, S.E., Bour, O., Scibek, J., 2013. Fault zone hydrogeology. *Earth-Science Reviews* 127, 171–192. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.09.008>
- Blum, A., Gravier, A., Mardhel, V., Malon, J.-F., 2006. Elaboration d'un réseau de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine en Loire-Bretagne conforme aux prescriptions de la Directive Cadre sur l'Eau. Rapport final. (No. BRGM/RP-54830-FR). BRGM.

- Boisson, A., 2011. Etude multi-échelles des réactions de dénitrification dans les aquifères hétérogènes : Approches expérimentales de l'influence des écoulements sur la réactivité biogéochimique. Université de Rennes 1.
- Boisson, A., de Anna, P., Bour, O., Le Borgne, T., Labasque, T., Aquilina, L., 2013. Reaction chain modeling of denitrification reactions during a push-pull test. *Journal of Contaminant Hydrology* 148, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2013.02.006>
- Boisson, A., Drzewiecki, P., Bourgeois, C., Neverre, N., Rinaudo, J.-D., Jehanno, F., Cauet, Y., Rivallan, J., Deconchy, A., Ainaoui, M., Goarnisson, J.-M., Barraï, N., 2024. Rapport de synthèse du projet « De l'Eau pour Demain » - objectifs et principaux résultats (No. BRGM/RP-73354-FR). BRGM.
- Boisson, A., Guihéneuf, N., Perrin, J., Bour, O., Dewandel, B., Dausse, A., Viossanges, M., Ahmed, S., Maréchal, J.C., 2015. Determining the vertical evolution of hydrodynamic parameters in weathered and fractured south Indian crystalline-rock aquifers: insights from a study on an instrumented site. *Hydrogeol J* 23, 757–773. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1226-x>
- Boisson, A., Lucass, Schoëtter, J.-M., Mougin, B., 2021. Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE). Rapport final (No. BRGM/RP-70336-FR).
- Boisson, A., Lucassou, F., Boivin, B., 2023. Dynamiques annuelles et pluriannuelles des ressources en eau en Région Bretagne - Projet : Eau Pour Demain (No. RP-73058-FR). BRGM.
- Boisson, A., Lucassou, F., Mougin, B., Le Gal, X., 2019. Recolte et analyse des données relatives aux prélèvements d'eau souterraine des irriguants travaillant sur la zone littorale du SAGE Argoat-Trégor-Goelo. Conseils et préconisations pour une gestion durable de la ressource (Projet ADRESSAGE) (No. BRGM/RP-68709-FR). BRGM.
- Boisson, A., Mougin, B., Venville, M., Rillard, J., Gardan, L., 2018. Capitalisation de 15 ans d'informations associées au boisement des périmètres de protection de captages d'eau souterraine bretons utilisés pour l'alimentation en eau potable. Apport d'informations sur les temps de réponse des bassins versants bretons - Rapport Final (No. BRGM/RP-68448-FR). BRGM.
- Bourgeois, C., Neverre, N., Boisson, A., Rinaudo, J.-D., 2023. Sécuriser l'alimentation en eau potable future dans le périmètre du Syndicat Mixte de l'Aulne. Rapport Final. (No. BRGM/RP-72460-FR). BRGM.
- CACG, 2021. Etude sur la gestion quantitative de la ressource en eau en Bretagne - Analyse de la pression de prélèvement - Définition des volumes disponibles. CACG.
- Cornette, N., 2022. Impact du changement climatique sur les ressources en eau de subsurface à l'horizon 2050-2100 dans un contexte de milieux de socle cristallin (These en préparation). Rennes 1.
- Courtois, Q., 2019. Ressources en eau et transferts de solutés dans les zones altérées superficielles des régions de socle (Thèse de Doctorat). Univ.rennes 1, Rennes.
- Dausse, A., 2023. Evaluation de l'effet de travaux de restauration sur les fonctions des zones humides de Bretagne. Projet ETREZH (2019-2022), Rapport de Synthèse. Forum des Marais Atlantiques.

- Dewandel, B., Amraoui, N., Baltassat, J.-M., Boisson, A., Caballero, Y., Mougin, B., 2020. Projet de recherche - MORPHEUS - MéthOdologie de Régionalisation des Propriétés HydrogEologiques des aquIfères de Socle. Rapport final. (No. BRGM/RP-69431-FR). BRGM.
- Dewandel, B., Boisson, A., Amraoui, N., Caballero, Y., Mougin, B., Baltassat, J.-M., Maréchal, J.-C., 2021. Improving our ability to model crystalline aquifers using field data combined with a regionalized approach for estimating the hydraulic conductivity field. *Journal of Hydrology* 601, 126652. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126652>
- Dewandel, B., Lachassagne, P., Wyns, R., Maréchal, J.C., Krishnamurthy, N.S., 2006. A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. *Journal of Hydrology* 330, 260–284. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.03.026>
- Dupas, R., Causse, J., Duval, Q., Jaffrézic, A., Pichelin, P., Aquilina, L., Durand, P., 2020. Diagnostic très haute résolution des zones d'émission et d'abattement du nitrate dans les bassins versants algues vertes Rapport final du projet DEMAIN -26 mars 2020. INRAE.
- Gleeson, T., Novakowski, K., 2009. Identifying watershed-scale barriers to groundwater flow: Lineaments in the Canadian Shield. *Geological Society of America Bulletin* 121, 333–347. <https://doi.org/10.1130/B26241.1>
- Jehanno, F., Cauet, Y., Rivallan, J., Ainaoui, M., Barraix, N., Berrehouc, G., 2023. Observatoire des consommations - Focus sur les consommations industrielles à partir du réseau d'eau potable. De l'Eau Pour Demain.
- Jiménez-Martínez, J., Longuevergne, L., Le Borgne, T., Davy, P., Russian, A., Bour, O., 2013. Temporal and spatial scaling of hydraulic response to recharge in fractured aquifers: Insights from a frequency domain analysis: Temporal and Spatial Scaling in Fractured Aquifers. *Water Resources Research* 49, 3007–3023. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20260>
- Kolbe, T., 2017. Temporal and spatial structures of denitrification in crystalline aquifers. Université de Rennes 1, Rennes.
- Kolbe, T., Dreuzy, J.-R. de, Abbott, B.W., Aquilina, L., Babey, T., Green, C.T., Fleckenstein, J.H., Labasque, T., Laverman, A.M., Marçais, J., Peiffer, S., Thomas, Z., Pinay, G., 2019. Stratification of reactivity determines nitrate removal in groundwater. *PNAS* 116, 2494–2499. <https://doi.org/10.1073/pnas.1816892116>
- Le Borgne, T., Bour, O., Paillet, F.L., Caudal, J.-P., 2006. Assessment of preferential flow path connectivity and hydraulic properties at single-borehole and cross-borehole scales in a fractured aquifer. *Journal of Hydrology* 328, 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.12.029>
- Le Guern C., Deslandes B., Boivin B., Lucassou F., Clozel B., J. Rillard, A. Péan, E. Bouriau, F. Tresse (2025) – Prise en compte de la qualité des sols dans la trajectoire Zéro Artificialisation Nette (QuaSoZAN) - Développements méthodologiques appliqués à Rennes Métropole. Rapport final V0. BRGM/RP-74153-FR, 80 p.
- Legout, C., Molenat, J., Aquilina, L., Gascuel-Oudou, C., Faucheux, M., Fauvel, Y., Bariac, T., 2007. Solute transfer in the unsaturated zone-groundwater continuum of a headwater catchment. *Journal of Hydrology* 332, 427–441. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.07.017>

- Lucassou, F., Aertgeerts, G., Berrehouc, G., Gloux, J., 2023a. Valorisation des carrières du Finistère à des fins d'exploitation en eau potable (No. RP-72362-FR). BRGM.
- Lucassou, F., Boisson, A., Baulon, L., Boivin, B., Godbille, S., 2023b. Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques d'Ille-et-Vilaine (ICARE 35) (No. BRGM/RP-73442-FR). BRGM.
- Lucassou, F., Mougin, B., Husson, F., Schroëtter, J.-M., Venville, M., Chamoreau, S., Schomburgk, S., Marquis, G., Imbault, M., Monnot, P., Winckel, A., Boisson, A., 2020. SIGES Bretagne phase 3 (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines) (No. BRGM/RP-69971-FR). BRGM.
- Lucassou, F., Schroëtter, J.-M., Baptiste, J., Coppo, N., 2019. Sensibilité des aquifères côtiers bretons aux intrusions salines (No. BRGM/RP-69012-FR). BRGM.
- Lucassou, F., Schroëtter, J.-M., Koch, F., Deray, G., Debel, A., Escudier, M., 2023c. ANTISEICHE : Apport des eaux souterraines pour les actions de restauration des milieux aquatiques du bassin versant de la Seiche (Moulins) (No. BRGM/RP-72339-FR). BRGM.
- Lucassou, F., Winckel, A., Gourcy, L., 2018. Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Horn et du Guillec - Etape 3 : interprétation des résultats d'analyses 2015 à 2017 (No. BRGM/RP-67295-FR). BRGM.
- Marçais, J., 2018. Variabilités des temps de résidence de l'eau et du débit dans les rivières et les nappes phréatiques : implications sur la qualité de l'eau : inférence, modélisation et prédiction des temps de transit de l'eau dans les bassins versants.
- Marçais, J., Gauvain, A., Labasque, T., Abbott, B.W., Pinay, G., Aquilina, L., Chabaux, F., Viville, D., de Dreuzy, J.-R., 2018. Dating groundwater with dissolved silica and CFC concentrations in crystalline aquifers. *Science of The Total Environment* 636, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.196>
- Molénat, J., Durand, P., Gascuel-Oudou, C., Davy, P., Gruau, G., 2002. Mechanisms of Nitrate Transfer from Soil to Stream in an Agricultural Watershed of French Brittany 23.
- Mougin, B., 2006. Atlas du réseau piézométrique de Bretagne (No. BRGM/RP-54576-FR). BRGM.
- Mougin, B., Allier, D., Blanchin, R., Carn, A., Courtois, N., Gateau, C., Putot, E., Jegou, J.P., Lachassagne, P., Stollsteiner, P., Wyns, R., 2008. SILURES Bretagne (Système d'Information pour la Localisation et l'Utilisation des Ressources en Eaux Souterraines) - Rapport final - Année 5. BRGM.
- Mougin, B., Bourgeois, C., Manlay, A., Neverre, N., 2023. Comment passer de la prévision des sécheresses hydrogéologiques à leur gestion anticipée ? Utilisation de MétéEAU Nappes dans un aquifère crayeux du Nord de la France. *La Houille Blanche*.
- Mougin, B., Gal, A.L., Dewandel, B., Schroëtter, J.-M., Petelet-Giraud, E., Lanini, S., Boisson, A., Charlier, J.-B., Portal, A., Koch, F., 2024. Une approche scientifique pluridisciplinaire pour caractériser des pertes en rivière en zone de socle : le site de l'Aff à usage eau potable (Morbihan, Bretagne). *Géologues* 49–52.
- Mougin, B., Lucassou, F., Morel, O., Schroëtter, J.-M., Marmu, B., Guillemain, L., Pesqueux, H., Cuillerier, A., Tagne Kamgue, G.V., 2013. SIGES Bretagne : constitution d'un Système d'Information pour la Gestion des Eaux souterraines en région Bretagne. Rapport final. BRGM.

- Pansard, R., 2021. Conditions de mise en oeuvre d'un territoire expérimental zéro pesticide en Bretagne. CRESEB.
- Pauwels, H., Kloppmann, W., Foucher, J.-C., Martelat, A., Fritsche, V., 1998. Field tracer test for denitrification in a pyrite-bearing schist aquifer. *Applied Geochemistry* 13, 767–778. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(98\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(98)00003-1)
- Pinson, S., Bault, V., Braibant, G., Ridet, L., Batut, K., Bodere, G., Bentivegna, G., Decouchon, E., Boucherat, Y., Koch, F., Breuil, C., Grandemange, A., 2019. Profondeur des entités Hydrogéologiques et évaluation des Contraintes à l'infiltration des eaux pluviales urbaines sur le territoire de Rennes Métropole - Projet PHOEBUS (No. BRGM/RP-68599-FR). BRGM.
- Pinson, S., Rouxel, E., Surdyk, N., Ollagnier, S., Mauroy, N., 2023. Outils et services pour la gestion et l'amélioration des connaissances sur les prélèvements en eau en Pays de la Loire - Etat des lieux sur les données, outils, besoins et recommandations - Rapport d'avancement (No. BRGM/RP-71841-FR). BRGM.
- Rivallan, J., Jehanno, F., Cauet, Y., Ainaoui, M., Barraïs, N., Berrehouc, G., 2022. Connaissance de la consommation d'eau potable distribuée par les réseaux publics. De l'Eau Pour Demain.
- Roques, C., 2014. Hydrogéologie des zones de faille du socle cristallin : implications en terme de ressources en eau pour le Massif Armoricaïn. Université de Rennes 1, Rennes.
- Roques, C., Bour, O., Aquilina, L., Dewandel, B., Leray, S., Schroetter, Jm., Longuevergne, L., Le Borgne, T., Hochreutener, R., Labasque, T., Lavenant, N., Vergnaud-Ayraud, V., Mougin, B., 2014. Hydrological behavior of a deep sub-vertical fault in crystalline basement and relationships with surrounding reservoirs. *Journal of Hydrology* 509, 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.023>
- Schroëtter, J.-M., Blaise, E., 2015. Atlas des aléas littoraux (Erosion et submersion marine) des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère : Phase 1 (No. BRGM/RP-65212-FR). BRGM.
- Schroëtter, J.-M., Boisson, A., Lucassou, F., Bader, A.-G., Beccaletto, L., Ouergui, Y., Tournlière, B., 2020. ANAFORE : Analyse multicritère des données de forages les plus productifs de Bretagne - Rapport Final (No. BRGM/RP-70280-FR). BRGM.
- Space for Climate Observatory, 2024. BOSCO : Space observatory for soil moisture in Brittany (France). <https://doi.org/10.60566/GJF1H-3A910>
- Vautier, C., 2019. Caractérisation des facteurs contrôlant les concentrations en nitrates dans l'aquifère à partir de mesures en ruisseau (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.
- Widory, D., Chery, L., Mougin, B., Talbo, H., 2001. Traçage isotopique des sources de nitrates dans les eaux souterraines : cas du bassin de l'Arguenon (Côtes-d'Armor) - Rapport final. (No. BRGM/RP-51091-FR). BRGM.
- Widory, D., Kloppmann, W., Chery, L., Bonnin, J., Rochdi, H., Guinamant, J.-L., 2004. Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach. *Journal of Contaminant Hydrology* 72, 165–188. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2003.10.010>

Annexe 1

Synthèse vulgarisée du projet

Les eaux souterraines en Bretagne : Synthèse des thématiques régionales explorées et des verrous existants

Les eaux souterraines, souvent négligées à l'échelle régionale, sont pourtant un élément majeur du cycle de l'eau. En effet, l'eau stockée dans le sous-sol ralentit les écoulements et assure la disponibilité d'une ressource tout au long de l'année. Les connaissances sur le fonctionnement des eaux souterraines en Bretagne se sont considérablement développées en 30 ans. Pour autant, des lacunes persistent actuellement, en termes de connaissance, d'outils ou de communication, et freinent la mise en place d'une gestion intégrée de l'eau à l'échelle régionale.

La Bretagne ne possède pas de grands aquifères mais dispose d'une multitude de petites réserves d'eau souterraine locales. Les capacités aquifères, c'est-à-dire la capacité des roches à contenir de l'eau, sont dépendantes de la nature des roches (granites, schistes, roches sédimentaires...), de leur altération et de leur état de fracturation. Ces aquifères (Illustration 1) ont des extensions généralement limitées et des propriétés très hétérogènes dans l'espace, à la fois en termes de perméabilité (capacité conductrice) et d'emmagasinement (capacité de stockage d'eau). La dynamique de ces aquifères est dominée par des cycles annuels de remplissage et de vidange naturels. Malgré des capacités de stockage limitées, les eaux souterraines sont essentielles pour le cycle de l'eau à l'échelle régionale puisqu'elles contribuent au débit annuel des cours d'eau à hauteur de 35% à 85% (Mougin et al., 2008).

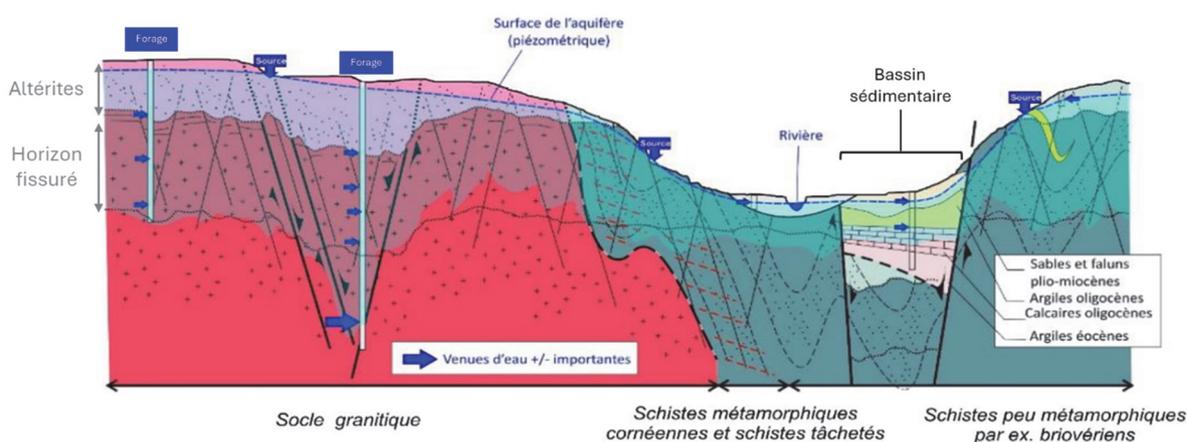


Illustration 15 : Schéma conceptuel des aquifères bretons – vue en coupe (modifié, d'après Schroëtter et al., 2020).

Un panorama des études menées sur les eaux souterraines en Bretagne a été réalisé par le BRGM à la demande de la DREAL Bretagne et de la Région Bretagne. Ce panorama a permis d'identifier les connaissances existantes (tableau de synthèse bibliographique) mais aussi les verrous et les axes de travail à développer afin d'orienter les futures études à mener à court (1 an), moyen (3 ans) et long terme (10 ans).

Quatre axes de travail ont été identifiés :

1. Aquifères, ressources, dynamique du cycle de l'eau : évolutions et impacts futurs
2. Connaissance des prélèvements d'eau
3. Qualité des eaux : état des lieux et évolutions
4. Gestion et gouvernance : outils

Le premier axe concerne l'ensemble du cycle de l'eau et traite donc à la fois le climat, les connaissances géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques. Les axes 2 et 3 s'intéressent aux impacts des activités humaines sur la ressource en eau en termes de quantité et de qualité. Le quatrième axe interroge sur l'articulation entre les acteurs pour parvenir à un équilibre et une gestion raisonnée et concertée des ressources en eau.

Le panorama dressé montre que les besoins pour aboutir à une gestion intégrée et garantir la résilience des ressources en eau sont nombreux. Ces besoins englobent l'acquisition de connaissances, le développement technique et la communication. Cependant, il montre aussi que les actions menées, les acteurs impliqués et les avancées sont tout aussi nombreux.

En fonction des thématiques, les verrous identifiés sont de natures différentes :

Les verrous de l'axe 1 (Ressources naturelles) sont principalement liés à la connaissance et à la compréhension du milieu. Les modélisations et les capacités de projection saisonnière ou long terme sont des attentes fortes des acteurs de l'eau. Ces verrous peuvent, pour certains, être levés par des études opérationnelles relativement courtes, alors que, dans d'autres cas, cela relève de manques qui nécessitent des actions de recherche à plus long terme.

Les verrous de l'axe 2 (Prélèvements anthropiques) relèvent davantage de l'ordre de la gestion, de la communication et de la gouvernance. Sur cet axe, relativement peu de verrous techniques importants existent, mais de nombreux développements méthodologiques (suivi, collecte et diffusion de données, développement d'outils) sont nécessaires. Par ailleurs, l'évaluation de la consommation en eau reste très difficile à réaliser.

Concernant l'axe qualité des eaux (Axe 3), les verrous sont à la fois techniques (connaissance et compréhension des processus, état des lieux des connaissances) et fortement politiques, notamment en ce qui concerne la gestion des intrants (nitrates, pesticides...). Les possibilités de restauration de la qualité des eaux souterraines sont limitées, compte tenu des volumes et des temps de séjour importants dans les aquifères.

Les verrous de l'axe 4 (Gestion et gouvernance) portent principalement sur la communication et les capacités d'information et d'échanges entre les acteurs. Ces capacités sont limitées en partie par la collecte et l'accès aux données pertinentes. Ce verrou peut être levé par la formation des acteurs, la mise à disposition d'outils de communication accessibles et par une amélioration de la collecte, de la validation et de la diffusion des données sur l'eau, tant sur les usages que sur les ressources en eau.

Ce panorama, structuré sous forme de modules (Illustration 2), montre que le travail mené sur une thématique permet aussi des avancées sur d'autres. Cependant, cette structuration verticale n'est pas exclusive et il est possible de mener des actions en parallèle ou à des échelles différentes.

Eaux souterraines en Bretagne : Panorama des thématiques régionales explorées et verrous existants

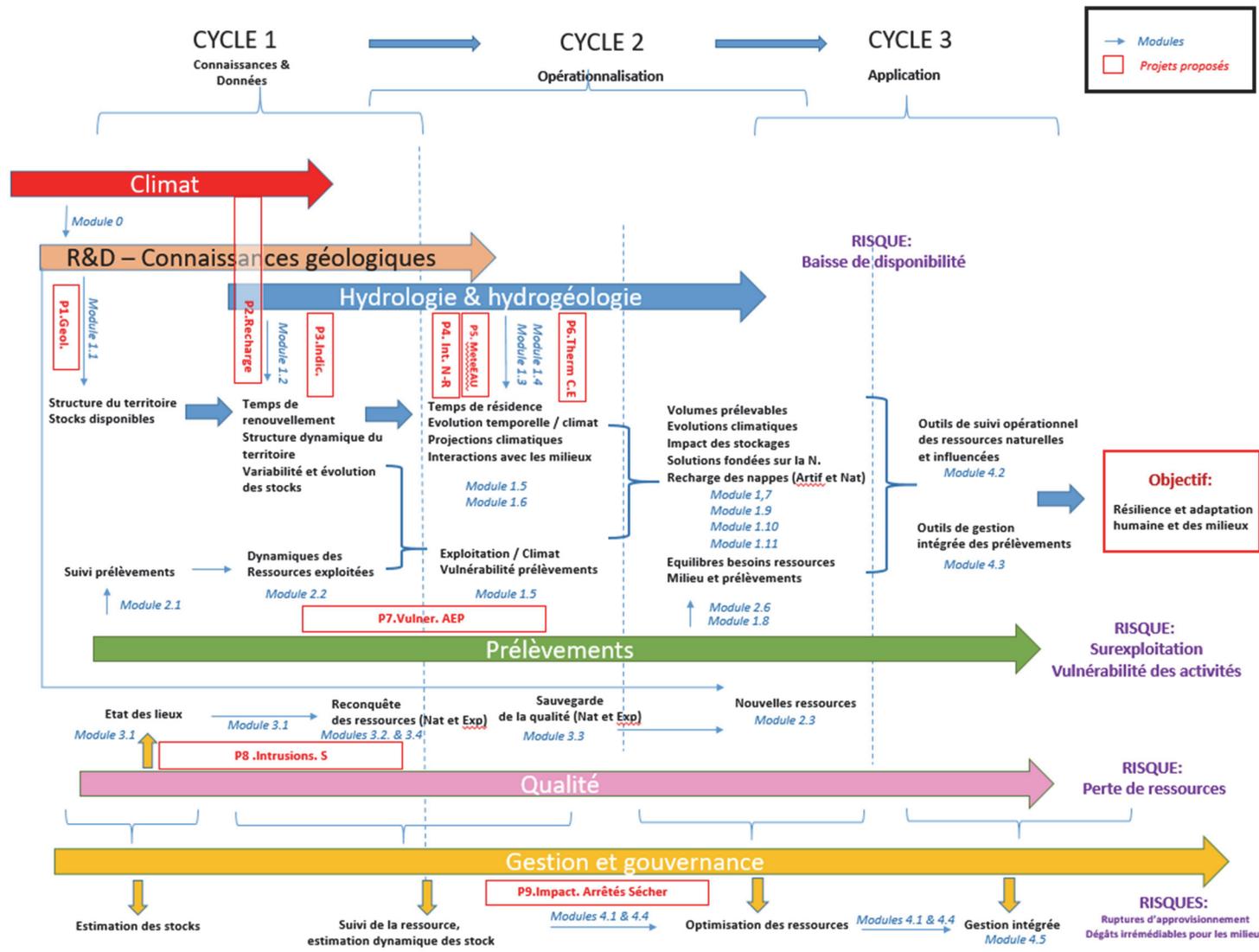


Illustration 16 : Déploiement d'une stratégie de développement des connaissances sur les eaux souterraines. Les grandes flèches représentent les principaux axes. Les textes en noir les thématiques d'intérêt ; les textes en bleu, les modules proposés ; en rouge, les projets qui ont été proposés pour combler une partie des manques de connaissances.

Eaux souterraines en Bretagne : Panorama des thématiques régionales explorées et verrous existants

Projet n°	Titre Projet	Résumé du projet	Priorité CRP proposée
P1	Carte géologique harmonisée thématique hydrogéologie du Massif armoricain au 1/50 000°	Les informations géologiques interviennent dans de plus en plus de thématiques (hydrogéologie, étude des sols, risques...) et nécessitent d'être actualisées constamment afin de répondre au mieux à l'évolution des besoins, en particulier dans un contexte de changement global. L'objectif est de fournir aux acteurs des territoires concernés par le Massif armoricain (i.e., Bretagne, Pays de la Loire, Normandie, Nouvelle-Aquitaine) une carte géologique numérique harmonisée incluant les données scientifiques et techniques les plus actualisées possibles et distinguant les formations superficielles (couverture sédimentaire et régolithe) des formations du socle.	Prioritaire 1
P2	Recharge spatialisée de l'échelle de la parcelle à l'échelle régionale	Ce projet se base sur les développements menés dans le cadre du projet BOSCO (https://www.spaceclimateobservatory.org/fr/bosco), mené par l'OSUR (L. Longuevergne – 2021-2023) qui a permis de co-construire un service d'estimation de la teneur en eau sur le territoire breton à très haute résolution spatiale et temporelle, pertinente pour la gestion agricole et des ressources en eau. Les objectifs du projet sont notamment de I) développer les capacités d'estimation et de suivi (1) de l'eau accessible dans les sols et (2) de la recharge à l'échelle de la parcelle, et des outils d'agrégation à des échelles pertinentes pour chaque acteur. Intégrer des produits dérivés et les valider sur des observations in-situ. II) Former les acteurs à utiliser ces données et les intégrer dans leurs pratiques quotidiennes. III) Aller vers une opérationnalisation du produit.	Non prioritaire
P3	Indicateurs piézométriques pour la gestion de la sécheresse hydrogéologique sur un département breton	Le projet a pour objectif d'établir des indicateurs piézométriques pour la gestion de la sécheresse hydrogéologique sur un département breton et sur cette base, élaborer des cartes d'anticipation des secteurs en tension hydrogéologique lors de l'étiage 2025. Ce projet pourrait être proposé dans un premier temps à un premier département breton (comme les Côtes d'Armor, en lien avec les réflexions de la DDTM22 (Service Environnement, MISEN) et les besoins exprimés par le SDAEP22), et pouvoir le décliner ensuite sur les autres départements (dans le cadre d'un autre projet).	Non prioritaire
P4	Interactions nappes rivières à l'échelle régionale	Dans un contexte de tensions sur les ressources en eau, une gestion dynamique de ces ressources superficielles et souterraines va devenir de plus en plus importante. Ce projet a pour objectifs de rapprocher les résultats de différentes études menées sur les temps de résidence, les datations des temps de transfert, le déploiement de modèles numériques, qui peuvent apporter une nouvelle vision des échanges nappes-rivières à l'échelle régionale et ainsi améliorer les connaissances sur les échanges nappes-rivières à l'échelle régionale dans le but de fournir les informations nécessaires à l'évaluation d'impact des prélèvements et d'aménagement sur les bassins versants. Ce projet a également comme objectif d'améliorer les capacités de projection de l'évolution des ressources en eau et de définir les temps de transfert représentatifs dans les aquifères à l'échelle régionale.	Prioritaire 2
P5	Déploiement de l'outil MétéEAU Nappes sur 25 piézomètres bretons	Le site web MétéEAU Nappes et sa plateforme associée développés par le BRGM permettent, pour des points de surveillance du niveau des nappes (piézomètres) associés à un modèle, la visualisation en quasi temps réel des données brutes et valorisées issues des mesures effectuées sur le réseau piézométrique national. La Phase 1 vise à déployer l'outil MétéEAU Nappes sur 25 piézomètres d'intérêt parmi les 52 points du réseau piézométrique régional géré par le BRGM. Ces premiers points seraient ensuite complétés, au travers d'une seconde phase, par le déploiement de l'outil MétéEAU Nappes sur le reste du territoire de la région Bretagne, au droit d'autres piézomètres et notamment ceux gérés par les collectivités locales et/ou les syndicats intéressés.	Prioritaire 1
P6	Thermie des cours d'eau – mécanismes, évolutions et impacts	L'impact des variations climatiques sur la thermie des cours d'eau reste peu exploré à ce jour. L'objectif du projet est de quantifier les échanges thermiques entre nappes et cours d'eau afin d'évaluer la capacité des nappes à maintenir des refuges thermiques pour les espèces. Ce projet a donc une forte composante exploratoire et nécessite des compétences multiples.	Non prioritaire
P7	Méthodologie d'évaluations de la vulnérabilité des ressources exploitées face aux variations climatiques	Le projet a pour objectif de définir une méthodologie d'évaluation des pertes des productivités des ressources exploitées à l'échelle d'un territoire à partir de l'analyse conjointe des données de production historiques, des données climatiques et des données d'état de la ressource. Cette méthodologie a pour vocation à être répliquable. Les actions menées dans ce projet sont la collecte de données de production, la comparaison des évolutions de production face aux variables climatiques (précipitations, évaporation) et aux variables d'état des ressources en eau (débit des cours d'eau et niveaux piézométrique), la production d'une cartographie à l'échelle de l'EPCI de la dépendance des territoires face aux variations climatiques et l'identification des vulnérabilités du territoire.	Non prioritaire
P8	Modélisation des risques d'intrusions salines face aux changements globaux	L'objectif de ce projet est d'évaluer par modélisation l'impact des changements globaux sur la position du biseau salé. En effet, les connaissances sur les intrusions salines à l'échelle régionale sont aujourd'hui lacunaires. Peu de situations problématiques sont identifiées, non pas en raison de leur inexistence mais probablement par manque d'informations. Les simulations serviront à quantifier l'impact relatif de chacun des processus et évaluer les risques pour les zones côtières. Ces informations serviront pour la communication auprès des acteurs pour objectiver les résultats et éclairer les choix.	Non prioritaire
P9	Impact des arrêtés sécheresses sur les usagers et ressources en eau	Le projet vise à évaluer l'impact des arrêtés sécheresses sur les usagers et sur les ressources en eau, ainsi que de développer un outil de communication et de quantification des arrêtés sécheresses. Plusieurs actions seront menées : 1) basée sur une approche socio-économique concernant les usagers, évaluer l'impact des arrêtés sur leurs comportements et notamment les jugements portés en termes de pertinence, de justice et d'efficacité, les savoirs sur les mécanismes de décision et sur l'état de la ressource, les conséquences concrètes sur les activités et l'éventuel enclenchement de stratégies d'adaptation à moyen/long-terme. 2) l'évolution des consommations par l'analyse des consommations de 2022 face aux décisions politiques de restrictions d'usage et aux variations climatiques. 3) réaliser une modélisation d'un bassin versant pour tester la réponse de celui-ci aux actions identifiées dans les axes précédents.	Prioritaire 3

Illustration 17 : Liste des projets proposés pour répondre aux manques identifiés en lien avec les eaux souterraines.

Les connaissances acquises, fournies aux acteurs de l'eau au travers des projets réalisés et à venir, améliorent et continueront d'améliorer progressivement la gestion des ressources en eau, en offrant une meilleure évaluation des stocks disponibles et en intégrant des données sur les prélèvements d'eau et la qualité des ressources. Grâce aux projections saisonnières et à long terme, il devient possible de suivre l'évolution des ressources et de gérer leur utilisation de manière plus réactive. L'analyse des leviers de gestion, comme les volumes prélevés, les stocks existants et la recharge active des aquifères ainsi que l'aménagement des territoires permet d'optimiser l'exploitation des ressources tout en préservant les milieux aquatiques. Enfin, les outils de suivi opérationnel et de gestion intégrée, ainsi que la formation des acteurs, renforcent une gouvernance collective et concertée de l'eau.

En complément de ce panorama, plusieurs projets ont été proposés (cf. Illustration 3), sous forme de fiches détaillées fournies aux services de l'Etat. Parmi eux, figure l'harmonisation régionale des cartes géologiques afin de produire un référentiel actualisé qui servira de base à de nombreuses autres études et à la constitution de cartes thématiques (ex : hydrogéologie). Concernant les ressources naturelles, les projets proposés visent à suivre la recharge des nappes de manière spatialisée et adaptée aux besoins, à surveiller et à faire des projections des niveaux d'eau souterraine en fonction des saisons, ou encore à anticiper les étiages grâce au réseau piézométrique. Un projet de recherche à plus long terme sur les échanges nappe-rivière est également proposé. Pour les ressources exploitées, l'objectif est de relier les capacités de production aux ressources naturelles afin d'anticiper les reports de prélèvements sur des ressources limitées, comme cela se produit lors des sécheresses. En ce qui concerne la qualité de l'eau, si la question des pollutions diffuses reste prioritaire, deux projets complémentaires sur la thermie des cours d'eau et les intrusions salines ont été soumis. Pour la gouvernance, un projet d'évaluation de l'impact des arrêtés sécheresse est également proposé.

Bien que les sciences humaines, économiques et sociales n'aient pas été abordées en détail dans cette étude, leur contribution à la gestion régionale de l'eau est cruciale pour la communication autour de ces enjeux, l'aménagement du territoire, l'acceptabilité des mesures prises et leur quantification. Elles peuvent être intégrées à de nombreuses thématiques, et leurs apports ne doivent pas être négligés.

Contacts :

Alexandre Boisson, BRGM (a.boisson@brgm.fr)

Pauline Drzewiecki, BRGM (p.drzewiecki@brgm.fr)

Rapport :

Boisson, A. 2025. Eaux souterraines en Bretagne : Panorama des thématiques régionales explorées et verrous existants. Rapport final V1. BRGM/RP-73922-FR, 54 p.

Annexe 2

Tableau de synthèse bibliographique

Eaux souterraines en Bretagne : Panorama des thématiques régionales explorées et verrous existants

Projet	Reference rapport	Institution	Connaissances aquifères	Nappe - nappes	Changement climatique	Infiltration	Projection	Modélisation	Milieu	Urbanisme	Communication	Exploitation ressources	Consommations	AEP	Resilience Ressources	Actions et prise de décision	Projection / Alerte	Suivi	Changement climatique	Nouvelles ressources	Pollutions diffuses	Intrusions salines	Temps de résidence	Nacéité	Algues vertes
Thèse Abherve 2022	Abherve, R., 2022. Intégration du changement climatique dans la gestion de la ressource en eau : exemple du bassin rennais. Université de Rennes 1, Rennes.	Univ-Rennes 1	X		X	X	X	X				X				X	X		X						
Democlim	Aniot, L., 2021. Impact des changements climatiques sur la ressource en eau en Bretagne. Université de Rennes 2.	Université Rennes 2			X																				
Moravaj	Aquilina, L., Galluamot, L., Vautier, C., Gullou, A., Vergnaud, V., de Dreuz, J.-R., Marçais, J., Durand, P., Dupas, R., 2021. Modélisation de la réactivité des aquifères dans les bassins algues vertes. Géosciences Rennes UMR6138.	Géosciences Rennes																					X	X	X
Thèse Armandine Les Landes 2014	Armandine Les Landes, A., 2014. Impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques (Thèse de doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Univ-Rennes 1			X			X														X			
Thèse Ayraud 2005	Ayraud, V., 2005. Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes (Thèse de doctorat). Rennes 1.	Univ-Rennes 1	X																		X		X		
Podiff	Baran, N., Berho, C., Devau, N., Gourcy, J., Gremont, M., Guéret, A., Hébaux, C., Le Guern, C., Lucasou, F., Neverre, N., Olivier, P., Petet-Giraud, E., Portal, A., Schwoetter, J.-M., Sidol, P., Surdyk, N., Thery, D., Koch, F., Lefevre, Y., Maurice, B. (2020) Qualité des eaux souterraines (nitrates et produits ph	BRGM	X	X							X						X				X		X		
	Baran, N., Gutierrez, A., Lopez, B., Surdyk, N., Gourcy, L., 2011. Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne : Modélisation et datation. BRGM.	BRGM	X	X		X						X									X		X	X	
Debit Minimum Biologique	Baran, P., Longueverne, D., Ombredane, D., Dufour, S., Dupont, N., 2015. Débit Minimum Biologique (DMB) et gestion quantitative de la ressource en eau : Comment définir une gestion quantitative équilibrée de la ressource en eau dans les bassins bretons en intégrant la préservation des milieux aquatiques et la vie pi	CRSEB		X																	X				
BOLISA	Baudouin, V., Chéren, P., Mougis, B., Rouel, E., Xu, D., Schomburgk, S. (2013). Référentiel Hydrogéologique Français BOLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne. Rapport final Misa	BRGM	X								X														
CINERGY	Bauer, H., Mougis, B., Dezayes, C., 2011. CINERGY : rapport géologique de fin de sondage - Rapport Intermédiaire (No. BRGM/RR-59528-FR). BRGM Calcaig, Philippe ; Bauer, Hugues ; Gullou-Frotter, Laurent ; Guillen, Antonio (2012) - Projet CINERGY Etude géothermique préliminaire du bassin de Rennes. Rapport fin	BRGM	X			X																	X		
Eau Pour Demain	Benejan, A., Jéhanno, F., Cherp, S., 2023. Observatoire des consommations - Outil de suivi de l'évolution des consommations d'eau en temps réel - Rapport Final. De l'Eau Pour Demain.	Eau Du morbihan										X				X									
Bureau suivi qualité eaux souterraines	Blum, A. ; Gravier, A. ; Mardhef, V. ; Malon, J.-F. (2006) - Elaboration d'un réseau de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine en Loire-Bretagne conforme aux prescriptions de la Directive Cadre sur l'Eau. Rapport final (No. BRGM/RR-54830-FR). BRGM.	BRGM	X	X		X	X				X	X					X	X			X	X	X	X	
Thèse Boisson 2011	Boisson, A., 2011. Etude multi-échelles des réactions de dénitrification dans les aquifères hétérogènes : Approches expérimentales de l'influence des écoulements sur la réactivité biogéochimique. Université de Rennes 1.	Univ-Rennes 1						X													X			X	
LEARN	Boisson, A., Cornette, N., 2023. Dynamique des ressources en eau sur le bassin de la Sègne. Relations avec l'arasement des barrages de Veziens et la Roche-qui-Boit - Contribution au projet LEARN (No. BRGM/RR-72849-FR). BRGM.	BRGM		X																					
Eau Pour Demain	Boisson, A., Drzewiecki, P., Bourgeois, C., Neverre, N., Rinaudo, J.-D., Jéhanno, F., Caut, Y., Rivallan, J., Deconchy, A., Ainaud, M., Goarrisson, J.-M., Barrais, N., 2024. Rapport de synthèse du projet « De l'Eau pour Demain » - objectifs et principaux résultats (No. BRGM/RR-73354-FR). BRGM.	BRGM	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Eau Pour Demain	Boisson, A., Lucasou, F., Bolvin, B., 2023. Dynamiques annuelles et pluriannuelles des ressources en eau en Région Bretagne - Projet : Eau Pour Demain (No. BR-73058-FR). BRGM.	BRGM	X	X	X							X	X								X				
Adressage	Boisson, A., Lucasou, F., Mougis, B., Le Gal, X., 2019. Recense et analyse des données relatives aux prélèvements d'eau souterraine des irrigants travaillant sur la zone littorale du SAGE Argon-Trégar-Goelo. Conseils et préconisations pour une gestion durable de la ressource (Projet ADRESSAGE) (No. BRGM/RR-6872-FR).	BRGM			X						X	X	X	X	X	X					X	X			
ICARE	Boisson, A., Lucasou, F., Schotter, J.-M., Mougis, B., 2021. Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE). Rapport final (No. BRGM/RR-70336-FR).	BRGM	X								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
BOCAPTAGE	Boisson, A., Mougis, B., Vennelle, M., Rillard, J., Gardin, L., 2018. Capitalisation de 15 ans d'informations associées au boisement des périmètres de protection de captages d'eau souterraine bretons utilisés pour l'alimentation en eau potable. Apport d'informations sur les temps de réponse des bassins versants breton	BRGM									X										X		X		
Eau Pour Demain	Bourgeois, C., Neverre, N., 2022. Etude de la demande en eau potable : résultats d'une analyse économétrique en Bretagne (No. BRGM/RR-71939-FR). BRGM.	BRGM										X	X								X				
Eau Pour Demain	Bourgeois, C., Neverre, N., Boisson, A., 2023. Note méthodologique sur la construction d'un outil de bilan Ressources-Besoins appliqué au territoire du Syndicat Mixte de l'Aulne dans le Finistère (No. BRGM/RR-72323-FR). BRGM.	BRGM										X	X	X	X	X					X				
Water for tomorrow	Bourgeois, C., Neverre, N., Boisson, A., Rinaudo, J.-D., 2023. Sécuriser l'alimentation en eau potable future dans le périmètre du Syndicat Mixte de l'Aulne. Rapport final. (No. BRGM/RR-72460-FR). BRGM.	BRGM										X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Thèse Brescian 2011	Brescian, E., 2011. Modélisation des contrôles climatiques, topographiques, géologiques et anthropiques sur les écoulements souterrains en domaine de socle (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Univ-Rennes 1	X	X				X																	
Gestion quantitative	CACG-DREAL-Etude sur la gestion quantitative de la ressource en eau en Bretagne - Analyse de la pression de prélèvement définition des volumes disponibles	CACG-DREAL	X	X	X							X	X	X											
	Carri, A., 1998. Valorisation pour l'alimentation en eau potable d'anciennes carrières sur le département du Morbihan (56) (No. BRGM/RR-39704-FR). BRGM.	BRGM	X																					X	
RAPSODI	Carré-Dreilly, A., Thomas, E., Hégu, J.-P., Brianellec, M., Loidand, M., Schwoetter, J.-M., 2008. RAPSODI - Recherche d'aquifères profonds dans le socle du département de l'Ille-et-Vilaine (No. BRGM/RR-56749-FR). BRGM.	BRGM	X																					X	
Thèse Cornette 2022	Cornette, N., 2022. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques à l'échelle des bassins versants dans un contexte de milieu de socle cristallin pour l'étude des impacts du changement climatique sur les ressources en eau. Univ. Rennes 1.	Univ-Rennes 1	X	X	X		X	X																	
Thèse Courtois 2019	Courtois, Q., 2019. Ressources en eau et transferts de solutés dans les zones alluviales superficielles des régions de socle (Thèse de Doctorat). Univ.rennes 1, Rennes.	Univ-Rennes 1	X	X			X	X																	
Berceau	Crave, A., 2021. Apports des techniques de suivi spécifiques de la piézométrie sur les échanges nappe-rivière. CNRS.	CNRS		X																					
ETREZH	Dause, A., 2023. Evaluation de l'effet de restauration sur les fonctions des zones humides de Bretagne. Projet ETREZH (2019-2022); Rapport de Synthèse. Forum des Marais Atlantiques.	Forum des Marais Atlantiques		X			X															X		X	
Eau Pour Demain	Deconchy, A., Berrehou, G., Bedji, N., Doyennard, D., 2022. Indicateurs de gestion hydrologique des réseaux utilisés pour la production d'eau potable. De l'Eau Pour Demain.	SMGEau35																							
Morphex	Dewandel, B., Amaud, N., Baltassat, J.-M., Boisson, A., Caballero, Y., Mougis, B., 2020. Projet de recherche - MORPHEUS - Méthodologie de Régionalisation des Propriétés Hydrogéologiques des Aquifères de Socle. Rapport final. (No. BRGM/RR-69431-FR). BRGM.	BRGM	X	X				X															X	X	
Demain	Dupis, R., Causez, J., Duval, Q., Jaffréic, A., Pichelin, P., Aquilina, L., Durand, P., 2020. Diagnostic très haute résolution des zones d'émission et d'abattement du nitrate dans les bassins versants algues vertes. Rapport final du projet DEMAIN -26 mars 2020. INRAE.	INRAE																						X	X
En cours de réalisation	En cours de réalisation	BRGM																						X	
Carreau 35	En cours de réalisation	CNRS/BRGM					X				X														
CYDRE	En cours de réalisation	CNRS/BRGM									X													X	
Thèse Garnvet 2023	Garnvet, E., 2023. Eau, territoires et changements globaux : vers une approche systémique et participative de modélisation pour concevoir et agir en complexité (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Univ-Rennes 1			X				X		X					X									
Eau Pour Demain	Hévin, G., Rinaudo, J.-D., Montgiron, M., 2023. Analyse de la consommation en eau potable à partir de fichiers de facturation - Guide méthodologique et applications - Rapport Final (No. RP-73025-FR). BRGM.	BRGM											X	X											
CASPAR	https://sigebre.brgm.fr/CASPAR-Caractérisation-des-Aquifères-Semi-Profonds.htmlhttps://theses.hal.science/tel-00967360/-https://doi.org/10.1016/j.jydrol.2013.11.023	BRGM	X																					X	
Eau Pour Demain	Jéhanno, F., Caut, Y., Rivallan, J., Ainaud, M., Barrais, N., Berrehou, G., 2023. Observatoire des consommations - Focus sur les consommations industrielles à partir du réseau d'eau potable. De l'Eau Pour Demain.	SDAE22/Eau du Morbihan/SMGEau35/Conseil départemental du Morbihan										X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Thèse Kolbe 2017	Kolbe, T., 2017. Temporal and spatial structures of denitrification in crystalline aquifers. Université de Rennes 1, Rennes.	Univ-Rennes 1						X													X		X		
Thèse Lamy 2013	Lamy, C., 2013. Impact du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des sécheresses en Bretagne (Thèse de doctorat). Rennes 2.	Univ-Rennes 2			X		X																		
Eau Pour Demain / Carrières 29	Lucasou, F., Aertgeerts, G., Berrehou, G., Gloux, J., 2023. Valorisation des carrières du Finistère à des fins d'exploitation en eau potable (No. RP-72362-FR). BRGM.	BRGM																						X	
Sraus	Lucasou, F., Boisson, A., 2024. Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ille-et-Vilaine (No. BRGM/RR-73084-FR). BRGM.	BRGM																					X	X	
ICARE 35	Lucasou, F., Boisson, A., Baulon, L., Bolvin, B., Godille, S., 2023. Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques d'Ille-et-Vilaine (ICARE 35) (No. BRGM/RR-73442-FR). BRGM.	BRGM	X									X	X	X	X	X	X	X	X	X					
IGES Bretagne	Lucasou, F., Mougis, B., Husson, F., Schwoetter, J.-M., Vennelle, M., Chamoneau, S., Marquis, G., Imbaud, M., Monnot, P., Winckel, A., Boisson, A., 2020. SIGES Bretagne phase 3 (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines) (No. BRGM/RR-69971-FR). BRGM.	BRGM	X	X				X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	
Indicateurs Piézométriques	Lucasou, F., Mougis, B., Stolteiner, P., 2015. Essai d'élaboration d'indicateurs piézométriques pour la gestion quantitative AEP dans le département des Côtes d'Armor (No. BRGM/RR-64123-FR). BRGM.	BRGM	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	
Intrusions salines	Lucasou, F., Schwoetter, J.-M., Baptiste, J., Coppo, N., 2019. Sensibilité des aquifères côtiers bretons aux intrusions salines (No. BRGM/RR-69012-FR). BRGM.	BRGM																				X			
Artésienne	Lucasou, F., Schwoetter, J.-M., Koch, F., Dery, G., Debel, A., Escudier, M., 2023. ANTÉSICHE - Apport des eaux souterraines pour les actions de restauration des milieux aquatiques du bassin versant de la Seiche (Moulins) (No. BRGM/RR-72339-FR). BRGM.	BRGM	X	X			X																		
Pisciculture	Lucasou, F., Schwoetter, J.-M., Koch, F., Le Roy, S., 2022. PIEZOLIT - Réalisation d'un piézomètre expérimental pour le suivi des intrusions salines à Plouegrec (Côtes d'Armor) (No. BRGM/RR-71829-FR). BRGM.	BRGM																						X	
Horn	Lucasou, F., Winckel, A., Gourcy, L., 2018. Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de Thion et du Guillec - Etape 3 : interprétation des résultats d'analyses 2015 à 2017 (No. BRGM/RR-67295-FR). BRGM.	BRGM																				X		X	X
Thèse Marçais 2018	Marçais, J., 2018. Variabilités des temps de résidence de l'eau et du débit dans les rivières et les nappes phréatiques : implications sur la qualité de l'eau : inférence, modélisation et prédiction des temps de transit de l'eau dans les bassins versants (Thèse de doctorat). Rennes 1.	Univ-Rennes 1	X	X				X															X		
SILURES Savi	Mougis, B., avec la collaboration de Hégu J.-P. (2006) - Atlas du réseau piézométrique de Bretagne - SILURES Savi (52 ouvrages) (No. BRGM/RR-54576-FR). BRGM.Mougis B., collaboration : Hégu J.-P. (2008) - SILURES Savi - Gestion du réseau de surveillance piézométrique régional de Bretagne - Valorisation des donne	BRGM	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
BV contentieux nitrates	Mougis, B., Aller, D., Seguin, J.-J., Stolteiner, P., Schwoetter, J.-M., Putot, E. (2008) - Bassins versants bretons en contentieux européen : typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates. Phase 2 - Rapport final (No. BRGM/RR-56408-FR). BRGM.	BRGM	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	
SILURES Bretagne	Mougis, B., Aller, D., Blanchin, R., Carn, A., Courtois, N., Gateau, C., Putot, E., Hégu, J.-P., Lachassagne, P., Stolteiner																								

Projet	Reference rapport	Contribution
These Abhervé 2022	Abhervé, R., 2022. Intégration du changement climatique dans la gestion de la ressource en eau : exemple du bassin rennais. Université de Rennes 1, Rennes.	Modélisation et paramétrisation - projection d'évolution des ressources en eau de surface face au changement climatique ; projection climatique sur le remplissage des barrages du bassin rennais
Democlim	Amiot, L., 2021. Impact des changements climatiques sur la ressource en eau en Bretagne. Université de Rennes 2.	Evaluation de l'évolution climatique sur une sélection de site par bilan hydrique
Morzag	Aquilina, L., Guillaumot, L., Vautier, C., Guilou, A., Vergnaud, V., de Dreuzy, J.-R., Marcalis, J., Durand, P., Dupas, R., 2021. Modélisation de la réactivité des aquifères dans les bassins aquifères vertes. Géosciences Rennes UMR6118.	Aquifères vertes ; modélisation - temps de transfert - réactivité du milieu
These Armandine Les Landes 2014	Armandine Les Landes, A., 2014. Impact des variations climatiques sur les ressources hydrogéologiques (Thèse de doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Sensibilité des ressources en eau face aux changements climatiques ; Evénements climatiques anciens et paléohydrologie ; intrusions salines
These Ayrault 2005	Ayrault, V., 2005. Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes (Thèse de doctorat). Rennes 1.	Datation des eaux ; dénitrification
PoDiFF	Baran, N., Berho, C., Devau, N., Gourcy, L., Grenont, M., Gutierrez, A., Hénaux, C., Le Guern, C., Lucassou, F., Neveve, N., Olivier, P., Petelet-Graud, E., Portal, A., Schrotter, J.M., Sidou, P., Sudyk, N., Thierry, D., Koch, F., Lefevre, Y., Maurice, B., (2020) Qualité des eaux souterraines (nitrates et produits ph)	Evaluation du transfert des nitrates dans les eaux souterraines. Etude sur le site de Plourhan (22) pour la Bretagne
	Baran, N., Gutierrez, A., Lopez, B., Sudyk, N., Gourcy, L., 2011. Transfert de nitrates à l'échelle du bassin d'alimentation de captages d'eau souterraine du bassin Loire-Bretagne: Modélisation et datation. BRGM.	Evaluation du transfert des nitrates dans les eaux souterraines. Etude sur le site de Plourhan (22) pour la Bretagne
Debit Minimum Biologique	Baran, P., Longueverme, L., Ombredane, D., Dufour, S., Dupont, N., 2015. Débit Minimum Biologique (DMB) et gestion quantitative de la ressource en eau - Comment définir une gestion quantitative équilibrée de la ressource en eau dans les bassins bretons en intégrant la préservation des milieux aquatiques et la vie pi	Interactions nappes-rivières ; impact sur les milieux aquatiques et la vie piscicole
BOLISA	Baudouin, V., Chéreau, P., Mouglin, B., Rouet, E., Xu, D., Schomburgk, S. (2013) - Référentiel Hydrogéologique Français BOLISA. Bassin Loire-Bretagne. Délimitation des entités hydrogéologiques en Bretagne et en Pays-de-la-Loire dans les départements de Vendée, Loire-Atlantique et Mayenne. Rapport final Mise à	Mise en place d'un référentiel national sur les aquifères en domaine de socle
CNERGY	Bauret, H., Mouglin, B., Dezayes, C., 2011. CNERGY - rapport géologique de fin de sondage - Rapport Intermédiaire (No. BRGM/RP-59528-FR). BRGM.Calcagno, Philippe ; Bauer, Hugues ; Guilou-Frottes Laurent ; Guillen, Antonio (2012) - Projet CNERGY Etude géothermique préliminaire du bassin de Rennes. Rapport fin	Connaissance du bassin tertiaire de Chartres-de-Bretagne (35) ; Forage le plus profond de Bretagne
Eau Pour Demain	Benjean, A., Jéhanno, F., Cherpil, S., 2023. Observatoire des consommations - Outil de suivi de l'évolution des consommations d'eau en temps réel - Rapport Final. De l'Eau Pour Demain.	Méthodologie de suivi en temps réel des consommations en eau potable
Béseau suivi qualité eaux souterraines	Blum, A., Gravier, A., Marchel, V., Malon, J.-F. (2006) - Elaboration d'un réseau de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine en Loire-Bretagne conforme aux prescriptions de la Directive Cadre sur l'Eau. Rapport final (No. BRGM/RP-54830-FR). BRGM.	Elaboration d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines
These Boisson 2011	Boisson, A., 2011. Etude multi-échelles des réactions de dénitrification dans les aquifères hétérogènes : Approches expérimentales de l'influence des écoulements sur la réactivité biogéochimique. Université de Rennes 1.	Evaluation de l'influence des vitesses d'écoulement sur les réactions biogéochimiques - Application à la réaction de dénitrification
LEARN	Boisson, A., Cornette, N., 2023. Dynamique des ressources en eau sur le bassin de la Sèvre. Relations avec l'arasement des barrages de Veziens et la Roche-qui-Boit - Contribution au projet LEARN (No. BRGM/RP-72849-FR). BRGM.	Estimation de la dynamique des cours d'eau à l'échelle du bassin versant
Eau Pour Demain	Boisson, A., Drzewiecki, P., Bourgeois, C., Neveve, N., Rinaudo, J.-D., Jehanno, F., Caut, Y., Rivallan, J., Deconchy, A., Ainaoui, M., Goarissen, J.-M., Barrais, N., 2024. Rapport de synthèse du projet « De l'Eau pour Demain » - objectifs et principaux résultats (No. BRGM/RP-73354-FR). BRGM.	Synthèse des études conduites dans le cadre du projet "De l'Eau pour Demain"
Eau Pour Demain	Boisson, A., Lucassou, F., Bovin, B., 2023. Dynamiques annuelles et pluriannuelles des ressources en eau en Région Bretagne - Projet : Eau Pour Demain (No. RP-73058-FR). BRGM.	Analyse de la dynamique des ressources en eau naturelles et exploitées face aux variations climatiques passées
Adressage	Boisson, A., Lucassou, F., Mouglin, B., Le Gal, X., 2019. Recette et analyse des données relatives aux prélèvements d'eau souterraine des irrigants travaillant sur la zone littorale du SAGE Argoat-Trigat-Goelo. Conseils et préconisations pour une gestion durable de la ressource (Projet ADRESSAGE) (No. BRGM/RP-6878	Estimation des prélèvements en eaux souterraines (Secteur restreint) ; Observation d'intrusions salines liées à l'exploitation des eaux souterraines
ICARE	Boisson, A., Lucassou, F., Schrotter, J.-M., Mouglin, B., 2021. Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques de Bretagne (projet ICARE). Rapport final (No. BRGM/RP-70336-FR).	Etat des lieux des connaissances des bassins tertiaires à l'échelle de la région
BOCAPTAGE	Boisson, A., Mouglin, B., Venille, M., Rillard, J., Gardin, L., 2018. Capitalisation de 15 ans d'informations associées au boisement des périmètres de protection de captages d'eau souterraine bretons utilisés pour l'alimentation en eau potable. Apport d'informations sur les temps de réponse des bassins versants breton	Estimation des évolutions des concentrations en nitrates sur les captages - Généralisation des mécanismes à l'échelle régionale
Eau Pour Demain	Bourgeois, C., Neveve, N., 2022. Etude de la demande en eau potable : résultats d'une analyse économétrique en Bretagne (No. BRGM/RP-71959-FR). BRGM.	Analyse des facteurs influençant les consommations d'eau potable sur un panel de territoires à l'échelle de la Bretagne
Eau Pour Demain	Bourgeois, C., Neveve, N., Boisson, A., 2023. Note méthodologique sur la construction d'un outil de bilan Ressources-Besoins appliqué au territoire du Syndicat Mixte de l'Aulne dans le Finistère (No. BRGM/RP-73233-FR). BRGM.	Construction d'un outil besoins ressources sur le territoire du Syndicat Mixte de l'Aulne
Water for tomorrow	Bourgeois, C., Neveve, N., Boisson, A., Rinaudo, J.-D., 2023. Sécuriser l'alimentation en eau potable future dans le périmètre du Syndicat Mixte de l'Aulne. Rapport Final. (No. BRGM/RP-72460-FR). BRGM.	Développement d'un modèle hydro-économique - Etablissement des équilibres Besoins/ressources à l'échelle d'un territoire
These Brezian 2011	Brezian, E., 2011. Modélisation des contrôles climatiques, topographiques, géologiques et anthropiques sur les écoulements souterrains en domaine de socle (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Partitionnement entre nappes et rivières - Organisation des circulations souterraines - Vulnérabilité des pompages ; Approche numérique
Gestion quantitative	CAGC-DREAL: Etude sur la gestion quantitative de la ressource en eau en Bretagne - Analyse de la pression de prélèvement définition des volumes disponibles	Evaluation des équilibres besoins ressources à l'échelle régionale
	Carn, A., 1998. Valorisation pour l'alimentation en eau potable d'anciennes carrières sur le département du Morbihan (56) (No. BRGM/RP-39704-FR). BRGM.	Evaluation du potentiel des carrières du Morbihan à contribuer à l'AEP
RAPSDOI	Cam-Chelly, A., Thomas, E., Jégou, J.P., Branellec, M., Lohard, M., Schrotter, J.-M., 2008. RAPSDOI - Recherche d'aquifères profonds dans le socle du département de l'Ille-et-Vilaine (No. BRGM/RP-56749-FR). BRGM.	Connaissance des structures profondes dans les aquifères de socle
These Cornette 2022	Cornette, N., 2022. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques à l'échelle des bassins versants dans un contexte de milieu de socle cristallin pour l'étude des impacts du changement climatique sur les ressources en eau. Univ. Rennes 1.	Modélisation des écoulements - projection climatique ; résilience des aquifères
These Courtois 2019	Courtois, Q., 2019. Ressources en eau et transferts de solutés dans les zones altérées superficielles des régions de socle (Thèse de Doctorat). Univ.rennes 1, Rennes.	Développement d'une approche de modélisation adaptée aux aquifères de socle par résolution 1D des écoulements à l'échelle du versant
Berceau	Crave, A., 2021. Apports des techniques de suivi spécifiques de la piézométrie sur les échanges nappes-rivière. CNRS.	Echanges nappes-rivières ; méthodologie de suivi et analyse
ETREZH	Dausse, A., 2023. Evaluation de l'effet de travaux de restauration sur les fonctions des zones humides de Bretagne. Projet ETREZH (2019-2022). Rapport de Synthèse. Forum des Marais Atlantiques.	Restauration des zones humides
Eau Pour Demain	Deconchy, A., Berrehouc, G., Bedjil, H., Doyonnard, D., 2022. Indicateurs de gestion hydrologique des retenues utilisées pour la production d'eau potable. De l'Eau Pour Demain.	Mise en place d'un outil de suivi des barrages destinés à l'AEP
Morphus	Dewandel, B., Amraoui, N., Baltassat, J.-M., Boisson, A., Caballero, Y., Mouglin, B., 2020. Projet de recherche - MORPHUS - Méthodologie de Régionalisation des Propriétés Hydrogéologiques des Aquifères de Socle. Rapport final. (No. BRGM/RP-69431-FR). BRGM.	Développement d'une méthode de régionalisation des paramètres hydrodynamiques à l'échelle d'un bassin versant
Demain	Dupas, R., Causse, J., Duval, G., Jaffrézic, A., Pichelin, P., Aquilina, L., Durand, P., 2020. Diagnostic très haute résolution des zones d'émission et d'abattement du nitrate dans les bassins versants algues vertes. Rapport final du projet DEMAIN - 26 mars 2020. INRAE.	Aquifères vertes ; diagnostic ; réactivité
Carreau 35	En cours de réalisation	Evaluation du potentiel de l'utilisation de carrières d'Ille-et-Vilaine pour l'alimentation en eau potable
CYORE	En cours de réalisation	Outils de prévision des débits des cours d'eau - Plateforme numérique
These Garnvet 2023	Garnvet, E., 2023. Eau, territoires et changements globaux : vers une approche systémique et participative de modélisation pour concevoir et agir en complexité (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Démarche participative et mobilisation sur la gestion des ressources en eau
Eau Pour Demain	Hévin, G., Rinaudo, J.-D., Montgroud, M., 2023. Analyse de la consommation en eau potable à partir de fichiers de facturation - Guide méthodologique et applications - Rapport Final (No. RP-73025-FR). BRGM.	Méthodologie d'analyse des fichiers de facturation des consommations en eau potable
CASPAR	https://vigebre.brgm.fr/CASPAR-Caractérisation-des-Aquifères-Semi-Profonds.htmlhttps://theses.hal.science/tel-00967360/ ; https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.11.023	Connaissance des structures profondes dans l'aquifère de socle de Saint-Brice-en-Coglès (35)
Eau Pour Demain	Jéhanno, F., Caut, Y., Rivallan, J., Ainaoui, M., Barrais, N., Berrehouc, G., 2023. Observatoire des consommations - Focus sur les consommations industrielles à partir du réseau d'eau potable. De l'Eau Pour Demain.	Estimation des consommations en eau potable - secteur industriel
These Kolbe 2017	Kolbe, T., 2017. Temporal and spatial structures of denitrification in crystalline aquifers. Université de Rennes 1, Rennes.	Evaluation de la structure des écoulements et de la réactivité (réaction de dénitrification) dans les aquifères de socle
These Lamy 2013	Lamy, C., 2013. Impact du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des sécheresses en Bretagne (Thèse de doctorat). Rennes 2.	Evaluation de l'impact du changement climatique sur la fréquence et l'intensité des sécheresses en Bretagne
Eau Pour Demain / Carrières 29	Lucassou, F., Antegnath, G., Berrehouc, G., Gloux, J., 2023. Valorisation des carrières du Finistère à des fins d'exploitation en eau potable (No. RP-72362-FR). BRGM.	Evaluation du potentiel des carrières du Finistère à contribuer à l'AEP
SeauS	Lucassou, F., Boisson, A., 2024. Méthodologie pour la mise en place d'un système de suivi et d'alerte des eaux souterraines exploitées pour l'eau potable en Ille-et-Vilaine (No. BRGM/RP-73084-FR). BRGM.	Mise en place de seuils d'alerte sur les ouvrages d'exploitation d'eau souterraine à destination de l'AEP
ICARE 35	Lucassou, F., Boisson, A., Baudin, L., Bovin, B., Godballe, S., 2023. Identification et caractérisation des aquifères tertiaires et quaternaires stratégiques d'Ille-et-Vilaine (ICARE 35) (No. BRGM/RP-73442-FR). BRGM.	Etat des lieux des connaissances des bassins tertiaires à l'échelle de la région ; complément à l'échelle de l'Ille-et-Vilaine
SIGES Bretagne	Lucassou, F., Mouglin, B., Husson, F., Schrotter, J.-M., Venille, M., Chamoneau, S., Schomburgk, S., Marquis, G., Imbault, M., Monnot, P., Winckel, A., Boisson, A., 2020. SIGES Bretagne phase 3 (Système d'Information pour la Gestion des Eaux Souterraines) (No. BRGM/RP-69971-FR). BRGM.	Site Internet ; Estimation des prélèvements en eau souterraine ; Paramètres hydrodynamiques ; Périmètres de protection ; Synthèse des recherches en eau pour l'AEP ; Communication vers experts et grand public
Indicateurs Piézométriques	Lucassou, F., Mouglin, B., Stollsteiner, P., 2015. Essai d'élaboration d'indicateurs piézométriques pour la gestion quantitative AEP dans le département des Côtes d'Armor (No. BRGM/RP-64123-FR). BRGM.	Lien entre niveaux piézométriques et débit des cours d'eau - mise en place d'indicateurs utiles à la gestion du remplissage des barrages pour l'AEP
Intrusions salines	Lucassou, F., Schrotter, J.-M., Bagstisse, J., Coppo, N., 2019. Sensibilité des aquifères côtiers bretons aux intrusions salines (No. BRGM/RP-69012-FR). BRGM.	Evaluation des indices d'occurrence des intrusions salines à l'échelle de la région Bretagne et cartographie des secteurs potentiellement vulnérables
Antiseiche	Lucassou, F., Schrotter, J.-M., Koch, F., Dery, G., Debel, A., Escudier, M., 2023. ANTISEICHE - Apport des eaux souterraines pour les actions de restauration des milieux aquatiques du bassin versant de la Seiche (Moulin) (No. BRGM/RP-72339-FR). BRGM.	Interactions nappes-rivières ; réaménagements du territoire ; drainage agricole
Piezolitt	Lucassou, F., Schrotter, J.-M., Koch, F., Le Roy, S., 2022. PIEZOLITT - Réalisation d'un piézomètre expérimental pour le suivi des intrusions salines à Ploguergat (Côtes d'Armor) (No. BRGM/RP-71829-FR). BRGM.	Mise en place d'un forage de suivi de l'évolution du biseau salé à Ploguergat (22)
Thom	Lucassou, F., Winckel, A., Gourcy, L., 2018. Mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur les bassins versants de l'Ilom et du Guillac - Etape 3 - Interprétation des résultats d'analyses 2015 à 2017 (No. BRGM/RP-67295-FR). BRGM.	Suivi et mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines sur le bassin versant de l'Ilom (29)
These Marçais 2018	Marçais, J., 2018. Variabilité des temps de résidence de l'eau et du débit dans les rivières et les nappes phréatiques: implications sur la qualité de l'eau: inférence, modélisation et prédiction des temps de transit de l'eau dans les bassins versants (Thèse de doctorat). Rennes 1.	Modélisation des écoulements - Temps de résidence
SILURES Suivi	Mouglin, B., avec la collaboration de Jégou J.P. (2006) - Atlas du réseau piézométrique de Bretagne - SILURES Suivi (52 ouvrages) (No. BRGM/RP-54576-FR). BRGM.Mouglin B., collaboration : Jégou J.P. (2008) - SILURES Suivi - Gestion du réseau de surveillance piézométrique régional de Bretagne - Valorisation des donne	Mise en place puis gestion du réseau piézométrique régional de Bretagne
BV contentieux nitrates	Mouglin, B., Allier, D., Seguin, J.-J., Skallstainne, P., Schrotter, J.-M., Putoz, E. (2008) - Bassins versants bretons en contentieux européen - typologie et modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates. Phase 2 : Rapport final. (No. BRGM/RP-56408-FR). BRGM.	Modélisation de l'évolution des concentrations en nitrates sur plusieurs BV
SILURES Bretagne	Mouglin, B., Allier, D., Blanchin, R., Cam, A., Courtois, N., Gateau, C., Putoz, E., Jégou, J.P., Lachassagne, P., Stollsteiner, P., Wyns, R., 2008. SILURES Bretagne (Système d'Information pour la Localisation et l'Utilisation des Ressources en Eau Souterraines) - Rapport final - Année 5 (No. BRGM/RP-56457-FR). BRGM.	Evaluation des stocks à l'échelle régionale - Horizon d'aléa ; Evaluation de la contribution des aquifères aux cours d'eau
IFF	Mouglin, B., Dewandel, B., Schrotter, J.-M., Petelet-Graud, E., Lanis, S., Boisson, A., Charlier, J.-B., Portal, A., Koch, F., 2022. Amélioration de la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du site de l'IFF (Communes de Beignon et Paimpont), pour une gestion durable des prélèvements dans les 3 forages FE3	Evaluation des interactions entre nappes exploitées pour l'AEP et cours d'eau - amélioration de la connaissance du fonctionnement de l'hydroystème
MHÉEAU Nappes	Mouglin, B., Nicolas, J., Vigier, Y., Bessière, H., Logezet, S., 2020. « MHÉEAU Nappes » : un site internet contenant des services utiles à la gestion des étages. La Houille Blanche 306, 28-36. https://doi.org/10.1051/hb/2020045Sudyk N., Thierry D., Nicolas J., Gutierrez A., Vigier Y., Mouglin B. (2022). MHÉEAU Nappes: O	Outil de prévisions saisonnières des niveaux piézométriques (plateforme web)
SEET	Mouglin, B., Schrotter, J.-M., Lucassou, F., Koch, F., 2017. Cartographie et évaluation des volumes d'eau souterraine du bassin tertiaire de Coësmes et du bassin versant de l'Arco pour les orientations de recherche en eau - Rapport Final (No. BRGM/RP-67060-FR). BRGM.	Recherche en eau souterraine sur le territoire du Syndicat intercommunal des Eaux de la Forêt du Theil (35)
	Mouglin, B., Thomas, E., Wyns, R., Blanchin, R., Mathieu, F., 2004. Qualité des eaux en Bretagne Ruissellement - infiltration Temps de réponse. Bassin versant du Yar (22), de l'Ilom (29) et du Coët Dan (56) (No. BRGM/RP-52731-FR). BRGM.	Evaluation des mécanismes d'infiltration et ruissellement sur 3 bassins versants bretons ; estimation des temps de réponse
SILURES Bassins Versants	Mouglin, E., Thomas, F., Mathieu, R., Blanchin R., Wyns (2005) - SILURES Bassins Versants - Dourdaff (29), Ouzt (56), Yvel (56), Maudouze et Noé Seche (2) - Rapport final Année 2 (No. BRGM/RP-53742-FR). BRGM.	Evaluation des stocks à l'échelle de BV de 50 km² ; Horizon d'aléa ; Temps de résidence
Pesticides	Pansard, R., 2021. Conditions de mise en oeuvre d'un territoire expérimental zéro pesticide en Bretagne. CRESEB.	Contraintes opérationnelles et technique pour la mise en place d'un territoire expérimental zéro pesticide en Bretagne
Phobus	Pinson, S., Baulf, V., Braibant, G., Ridel, L., Batut, K., Bodere, G., Bentivoglia, G., Decouchon, E., Boucherat, Y., Koch, F., Breuil, C., Grandemange, A., 2019. Profondeur des entités hydrogéologiques et évaluation des Contraintes à l'infiltration des eaux pluviales urbaines sur le territoire de Rennes Métropole - Projet PHO	Cartographie du potentiel d'infiltration des eaux à l'échelle de Rennes métropole
PRELEVEAU	Pinson, S., E. Rouet, N. Sudyk, S. Ollagnier, N. Maury (2023) - Outils et services pour la gestion et l'amélioration des connaissances sur les prélèvements en eau en Pays de la Loire - Etat des lieux sur les données, outils, besoins et recommandations - Rapport d'avancement. BRGM/RP-71841-FR, 176 p	Etat des lieux et amélioration des connaissances sur les prélèvements d'eau souterraine
PRESAGES	Projet PRESAGES en cours de réalisation(PREvision et Simulation pour l'Anticipation et la Gestion des Etages sur le bassin de la Seine)	Outil de prévisions saisonnières des niveaux piézométriques et débits des cours d'eau (plateforme web)
Eau Pour Demain	Rivallan, J., Jéhanno, F., 2023. Guide méthodologique pour la réalisation d'un observatoire local et dynamique de la consommation d'eau. De l'Eau Pour Demain.	Estimation des consommations en eau potable
Eau Pour Demain	Rivallan, J., Jéhanno, F., Caut, Y., Ainaoui, M., Barrais, N., Berrehouc, G., 2022. Connaissance de la consommation d'eau potable distribuée par les réseaux publics. De l'Eau Pour Demain.	Estimation des consommations en eau potable - sur un panel de secteurs
These Rouques 2014	Rouques, C., 2014. Hydrogéologie des zones de faille du socle cristallin : implications en terme de ressources en eau pour le Massif Armoricain (Thèse de doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Fonctionnement hydrodynamique des zones de failles à l'échelle locale et régionale ; réactivité chimique ; Site de Saint-Brice-en-Coglès (35)
REP 49	Rouet, E., Courbière, P., Cathelineau, T.D., Henriot, A., Labbé, V., Vernoux, J., Dewandel, B., Lefevre, A., 2021. Réseau de suivi des ressources en eau souterraine utilisées pour l'AEP, Maine-et-Loire - Bilan années 2020 & 2021 et perspectives 2022 (No. BRGM/RP-71353-FR).	Mise en place d'un réseau de suivi des ressources AEP à l'échelle du département de Maine-et-Loire (49)
Atlas Littoral	Schrotter, J.-M., Blaise, E., 2015. Atlas des aléas littoraux (Érosion et submersion marine) des départements d'Ille-et-Vilaine, des Côtes d'Armor et du Finistère - Phase 1 (No. BRGM/RP-65112-FR). BRGM.	Atlas des aléas littoraux (érosion et submersion marine) le long du trait de côte breton
ANAFORE	Schrotter, J.-M., Boisson, A., Lucassou, F., Bader, A.-G., Beccalotto, L., Ourguy, Y., Tourlière, B., 2020. ANAFORE: Analyse multicritère des données de forages les plus productifs de Bretagne - Rapport Final (No. BRGM/RP-70280-FR). BRGM.	Evaluation des contextes géologiques favorables à l'exploitation des eaux souterraines à destination de l'AEP
These Simon 2020	Simon, N., 2020. Développement des méthodes actives de mesures distribuées de température par fibre optique pour la quantification des écoulements souterrains : apports et limites pour la caractérisation des échanges nappes/rivière (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Utilisation de la fibre optique pour la quantification des échanges nappes-rivières
These Vautier 2019	Vautier, C., 2019. Caractérisation des facteurs contrôlant les concentrations en nitrates dans l'aquifère à partir de mesures en ruisseau (Thèse de Doctorat). Université de Rennes 1, Rennes.	Estimation des temps de résidences ; prédiction des concentrations en nitrates ; algues vertes
Nernoux, J.-F., Wulleumier, A., Perrin, J., (2014) - Délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses. Version révisée du guide méthodologique. Rapport Final (No. BRGM/RP-63311-FR). BRGM.	Méthodologie de délimitation des aires d'alimentation des captages d'eau souterraine et estimation de leur vulnérabilité	
Delimitation et vulnérabilité AAC	Widory, D., Chéry, L., Mouglin, B., Talbo, H., Pincard, D., Bonnin, J., Roché-Ghandour, H. (2001) - Traçage isotopique des sources de nitrates dans les eaux souterraines : cas du bassin de l'Arguenon (Côtes-d'Armor) - Rapport final (No. BRGM/RP-51091-FR). BRGM.	Traçage des sources de nitrates dans les eaux souterraines pour chercher leurs origines

Annexe 3

Thématiques et organisation des modules

Thématiques	Objectifs / Volets	Constat / état des lieux
Axe 1 : Aquifères, Ressources et dynamique du cycle de l'eau, évolutions et impacts		
Module 1.1: Connaissances géologiques		
Module 1.1.1 : Harmonisation des connaissances	Harmonisation régionale	Cartes départementales non harmonisées - 21 nouvelles cartes 50 000ème éditées depuis harmonisation départementale
Module 1.1.2 : Cartographie du régolithe	Connaissances de la géométrie et altération Cartographie prédictive du régolithe Cartographie des disparités régionales	Cartographie 50 000ème peu adaptée aux applications locales pour le régolithe (Manque d'homogénéisation) Connaissances très hétérogènes à l'échelle régionale - l'utilisation des méthodes prédictives (Baptiste, 2021) permettrait d'améliorer l'information régionale Bonne définition lithologique à l'échelle régionale - manque d'informations sur l'altération et son rôle pour les ressources en eau
Module : 1.1.3 : Géologie structurale	Homogénéisation de l'information géologique structurale régionale Rôle de la géologie structurale sur le cycle de l'eau	Les cartes géologiques au 50 000ème ont été levées à des époques différentes créant une forte hétérogénéité de l'information Identification de directions de fracturation propices pour les ressources en eau - connaissance pouvant être améliorée
Module : 1.1.4 : Aquisition de nouvelles données	Géophysique locale Géophysique aéroportée	Des zones à forts potentiels pour des ressources sont identifiées - des compléments de données peuvent aider à valider ces potentiels Permettrait une amélioration de la cartographie du régolithe et des éléments structuraux à l'échelle du territoire
Module 1.2: Suivi et dynamique des aquifères		
	Recharge spatialisée Amélioration des connaissances de stock Connaissances sur l'hétérogénéité dynamique des bassins Développement de modélisation adaptées aux bassins de socle Modélisations hydrologiques et hydrogéologiques régionale Hétérogénéité des bassins versants	Estimation de la recharge variable selon les territoires Manque de connaissances pour l'estimation a priori du stock disponible Développements en cours (ex: Thèses Cornette et Abhervé) mais restent limité à des zones restreintes Modèles difficiles à paramétrer et mettre en place - Besoins de développements adaptés (ex: Thèses Cornette et Abhervé) à un cout acceptable Comportement hydrologique à l'échelle du bassin versant - gestion opérationnelle à l'échelle d'un ensemble de bassins Le comportement hydrodynamiques des bassins à l'échelle régionale reste peu étudié hors des bassins jaugés
Module 1.3: Interactions Nappes rivières		
Module 1.3.1 : Connaissances	Quantification des écoulements de versants et échanges nappes rivières Temps de résidence Intégration chimique Modélisation et généralisation des processus Projections sur les bassins non jaugés Rôle des nappes sur la thermie des cours d'eau	Peu de capacité de généralisation à l'échelle régionale Peu d'éléments pour des applications à des échelles locales et opérationnelles Le transport d'éléments chimiques permet une estimation des temps de résidence et volumes transportés - temps difficilement estimables sans études locales Les modélisations à l'échelle du versant sont actuellement limitées et généralisables aux bassins versants Manque de connaissances généralisables sur les propriétés hydrodynamiques des milieux Les apports de nappe sont considérés comme de potentiels refuges thermiques pour les espèces; Quelle est leur importance à l'échelle du cours d'eau?
Module 1.3.2 : Applications	Rôle des drains sur le cycle de l'eau Impact des retenues	Actions de renaturation des milieux et de ralentissement du cycle de l'eau Demande de retenues en hausse - manque de données scientifiques locale sur les impacts de ces retenues
Module 1.4: Zone non Saturée (ZNS)		
	Evolution de la zone non saturée avec l'évolution des territoires Evolution de la zone non saturée avec le CC	Les aménagements du territoire influent localement sur la ZNS - Des études locales peuvent permettre la quantification Les projection climatiques prévoient une augmentations des sécheresses et des précipitations extrêmes; Comment ces évolutions influent sur la ZNS ?
Module 1.5: Prévisions saisonnières		
	Prévisions niveaux de nappe Prévisions des débits de cours d'eau Prévisions couplées ESO/ESU	Outils Météo Nappes disponible mais un seul point existant au niveau régional Outils Cydre en développement mais limité au bassins jaugés Aucun outil disponible couplant à la fois des projections sur ESO et ESU
Module 1.6: Changement global et projections futures		
	Modèles climatiques et changement d'échelle (Downscaling) Transposition des modèles climatiques au cycle de l'eau Modèles locaux Modélisation à échelle régionale Projection climatiques sur les ressources Mise à disposition des projections	Modèles de plus en plus adaptés et développements en cours et toujours nécessaires Développements en cours mais peu accessibles Modèles existant basés sur des méthodes hétérogènes et non disponibles pour l'ensemble du territoire Pas de modèle à l'échelle régionale Méthodes spécifiques aux aquifères de socle nécessaires Modèles non accessibles (volet hydrologie/hydrogéologie)
Module 1.7: Besoins des milieux		
	Accessibilité des eaux en regard avec les besoins des territoires naturels et anthropiques Quantification des besoins biologiques Rôles et évolution des zones humides Biodiversité aquatique et refuges thermiques	Etudes HMUC en cours, procédures d'analyses différentes Pas de quantification par territoire des besoins des milieux Etudes existantes mais pas d'homogénéisation régionale Manque de connaissances sur la thermie des rivières et son évolution
Module 1.8: Impact anthropique sur le milieu		
	Impact des prélèvements sur le milieu naturel Impact des retenues Evaporation des plans d'eau	Manque de connaissances sur les prélèvements (localisation, volumes) et leurs impacts - Manque de connaissances sur la temporalité des impacts Demande de retenues en hausse - manque de données scientifiques locales sur les impacts de ces retenues Des estimations de l'impact ont été réalisées mais des validations restent nécessaires
Module 1.9: Actions de résilience et adaptation		
	Ralentissement du cycle de l'eau Recharge artificielle Solutions fondées sur la nature	Actions en cours mais peu d'évaluations des effets actuellement Evaluation du potentiel de recharge artificielle sur le territoire non disponible Développement d'actions expérimentales et opérationnelles
Module 1.10: Hydrologie urbaine		
	Infiltration en milieu urbain Interactions réseaux et nappes Fonction des sols et infiltration en milieux urbains	Impact de la diminution des surfaces d'infiltration ou de leur augmentation Interactions entre les réseaux d'assainissement et nappes Besoins d'orientation pour les choix de développement urbains
Module 1.11: Evènements extrêmes		
	Evolution des précipitations extrêmes Risque inondation	Probable augmentation des précipitations extrêmes Probable augmentation des précipitations extrêmes

Thématiques	Objectifs / Volets	Constat / état des lieux
Axe 2 : Prélèvements anthropiques, gestion, suivi et résilience		
Module 2.1: Données d'exploitation et prélèvements		
	AEP : Amélioration des suivis (qualité de mesure)	Données hétérogènes ; manquantes ; imprécises
	AEP : Homogénéisation et interopérabilité des données	Données non disponibles ; non accessibles
	AEP : Monitoring opérationnel	Données non disponibles et accessibles
	IND : Suivi gros préleveurs	Données annuelles AELB/BNPE non adaptées à la gestion de la ressource; volumes annuels uniquement et trop de délai de mise à jour pour utilisation opérationnelle
	AGRI: Prélèvements Agricoles	Manque de données fiables ; seuls les gros préleveurs sont suivis
	AGRI: Risques de report agricole	Inquiétude forte ; cas observés
Module 2.2: Projection et vigilance		
	Cartographie de la vulnérabilité des territoires	Les ressources exploitées sont affectés par les variations climatiques (perte de productivité) rendant les territoires vulnérables et dépendants
	Outils de projection locaux	Les ressources exploitées sont affectés par les variations climatiques, il est possible de projeter comme pour les ressources naturelles ces baisses et reports vers d'autres ressources
	Outils de reporting pour les comités sécheresse	Les outils de reporting des arrêtés sécheresses sont actuellement limités et des développements opérationnels sont possibles
	Exploitation et changement climatique	Peu de liens quantifiés entre impact du climat et capacités de production
	Scénario de gestion de rupture AEP importante	Evaluation des risques et conséquences des pollutions de ressources stratégiques (Ex Aulne 2020)
	Impact de la qualité sur les capacités de production AEP	L'évolution des normes et l'apparition de pollutions peut entraîner des fermetures importante - identification des site à risque et solution alternative
	Vulnérabilité des barrages face au changement climatique	Les barrages principales ressource AEP connaissent des difficultés de remplissage qui pourraient s'accroître
Module 2.3: Nouvelles ressources		
Module 2.3.1 : Socle	Cartographie et dynamique des altéries	Besoins de ressources alternatives ou complémentaires lors de période de crise
	Géologie structurale et capacité de production d'eau	Besoins de ressources alternatives ou complémentaires lors de période de crise
	Actions de recherche en eau	Besoins de ressources alternatives ou complémentaires lors de période de crise
	Validation des ZNAEP - AELB	Besoins de ressources alternatives ou complémentaires lors de période de crise
Module 2.3.2: Bassins Sédimentaires		
	Bassin de Chartres de Bretagne	Bassin fortement utilisé mais dont le fonctionnement reste peu documenté
	Etudes complémentaires sur les bassins (recensement dans les études ICARE)	Le recensement des connaissances sur les bassins sédimentaires montre des données et connaissances anciennes
Module 2.3.3: Ressources Alternatives		
Carrières	Identification du potentiel	Etudes en cours
	Opérationnalisation	Etudes en cours
	Utilisation	
REUT	REUT - Volet réglementaire	Existence de verrous réglementaires sur l'utilisation
	REUT - Volet Technique	
Réhabilitation de ressources	Réévaluation des forages abandonnés	De nombreux forages ont été abandonnés (souvent pour des problèmes de qualité). ces ouvrages ont pu évoluer et pourraient être évalués pour des ressources sécurisation
Module 2.4: Bilans Besoins-Ressources		
	Besoins des milieu et ressources disponibles	Etudes HMUC en cours - Hétérogénéité des méthodes ; Données limitantes
	Besoins anthropiques et ressources disponibles	Etudes HMUC en cours - Hétérogénéité des méthodes ; Données limitantes
Module 2.5: Outils de gestion et d'information mutualisés		
	Développements méthodologiques	
	Démonstrateurs locaux	Les ressources exploitées sont affectées par les variations climatiques, il est possible de projeter comme pour les ressources naturelles ces baisses et reports vers d'autres ressources
	Application régionale	Les ressources exploitées sont affectées par les variations climatiques, il est possible de projeter comme pour les ressources naturelles ces baisses et reports vers d'autres ressources
	Connaissance des points de prélèvements	
	Connaissance des différences entre des prélèvements autorisés et des prélèvements réels	
Module 2.6: Consommations		
	Suivi des consommations	Pas de temps inadapté ; bases multiples ; non accessibles - Besoins de partage des informations
	Bancarisation de l'information	Manque de bancarisation
	Synthèse des données	Besoins de suivi et partage de l'information
	Projections	Les estimations sur l'évolution des consommations sont actuellement limitées
	Diminution des consommations	
Module 2.7: Rejets anthropiques		
	Impact des STEPs sur les écoulements	
	Risques de sécheresses et STEPs	

Thématiques	Objectifs / Volets	Constat / état des lieux
Axe 3: Qualité de l'eau, Etat des lieux et évolutions		
Module 3.1: Qualité et milieu naturel		
	Amélioration de la qualité des masses d'eau	Pollutions diffuses toujours importantes dans de nombreuses masses d'eau
	Temps de résidence et de transfert des polluant existants	Capacité de reconquête de la qualité de l'eau
	Pollutions émergentes	PFAS & Métabolites
	Futures évolutions agricoles	Evolution constante des produits utilisés
Module 3.2: Qualité AEP		
	Etat des lieux de la situation pesticides et polluants émergents	Omniprésence de certains polluants (Métolachlore ESA) - Des concentrations en baisse, mais une plus grande diversité de substances
	Impact de la fermeture de points de prélèvement en raison de la qualité	Nombreux points de prélèvement fermés dans le passé pour des problèmes de qualité - Quelle est leur situation actuelle ?
	Capacité de reconquête des captages abandonnés	Dans un contexte de besoins de nouvelles ressources en eau un état des lieux des captages abandonnés peut apporter des solutions
	Modélisation de l'évolution des pollutions existantes	Certaines pollutions sont avérées sur certains captages; quelles seront leurs évolutions
Module 3.3: Intrusions salines		
	Etat des lieux de la situation et des risques	A l'échelle régionale peu de problèmes connus par manque de données locales
	Suivi de l'évolution sur les zones à risque	Sur les zones à risque adapter le suivi et l'utilisation des eaux souterraines - Méthodes de suivi à développer
Module 3.4: Algues vertes		
	Atténuation des intrants	Malgré un certain nombre d'actions la présence d'algues vertes perdure
	Compréhension des processus	Temps de résidence et mécanismes partiellement connus
	Possibilités de reconquête de la qualité	Malgré un certain nombre d'actions la présence d'algues vertes perdure
Axe 4 : Communication, diffusion, valorisation et gouvernance		
Module 4.1: Acteurs		
	Diffusion des connaissances	Beaucoup de sollicitations - peu de moyens de réponse (temps d'échange)
	Animation auprès et avec les acteurs de l'eau	Beaucoup de sollicitations - peu de moyens de réponse (temps d'échange)
	Recueils de besoins - diffusion de l'information	Les besoins sont collectés par de nombreux acteurs à la faveur des projets
	Evolution climatique et RCP 8,5	Diffusion de l'information sur les évolutions climatiques probables
Module 4.2: Outils temps réel et projections accessibles court terme		
	Cours d'eau	Outils existants ou en développement; Simfen permet une estimation sur tout le territoire mais pas de projection; Cydre Projection sur un nombre limité de stations
	Eaux souterraines - Piézométrie	Outils disponibles mais non déployés à l'échelle de la région (1 seul point actuellement)
	Barrages et retenues	Outil disponible au SMG35 - Non automatisé et diffusables
	Consommations	Manque d'information sur les consommations pour permettre des projections
Module 4.3: Outils dynamiques de suivi Besoins-ressources		
	Outils de suivi de l'équilibre Besoins ressources	Les bilans Besoins ressources (Ex:HMUC) réalisés actuellement sont statiques et ne répondent pas à une situation dynamique
	Homogénéisation des procédures	Actuellement les procédures d'évaluation ne sont pas homogènes ce qui rends complexe les comparaisons entre les territoires
	Accompagnement des SAGEs	Le suivi de la DREAL des réunions HMUC révèle des approximations et incohérences dans certaines études HMUC
Module 4.4: Planification & Gouvernance		
	Mise à jour de la stratégie régionale	Une stratégie nécessite d'être développée ou affinée en fonction des évolutions
	Communication sur les difficultés futures (court et moyen terme)	Le risque sur les ressources en eau augmente en fréquence et amplitude - les outils pour l'information des populations doivent être anticipés
	Evaluation de l'impact des arrêtés sécheresses (consommateurs et milieu)	Les impacts des arrêtés sécheresses sont inconnus tant sur les consommations que sur le milieu
	Gouvernance de l'anticipation des crises	Le REX de gestion de crise et de sécurisation réalisé dans le projet Eau Pour Demain montre un besoin d'anticipation
	Gouvernance de la gestion des crises	Le REX de gestion de crise et de sécurisation réalisé dans le projet Eau Pour Demain montre un besoin d'anticipation
	Dérogation au débits d'étiages	Dérogations fréquentes - pertinence des seuils
	Developpement d'outils de reporting institutionnels	Le REX de gestion de crise et de sécurisation réalisé dans le projet Eau Pour Demain montre un besoin d'anticipation et homogénéisation des outils
Module 4.5: Socio-économie de l'eau		
	Transports et échanges d'eau	Les interconnexions entre territoires sont un des premiers outils de sécurisation
	Regles de gestion des prélèvements	La gestion des prélèvements est liée à des choix économiques court termes; Quel est l'impact d'une gestion dictée en priorité par le maintien d'une résilience des ressources

Annexe 4

Projets proposés

Projet n°	Titre Projet	Résumé du projet	Priorité CRP proposée
P1	Carte géologique harmonisée thématique hydrogéologie du Massif armoricain au 1/50 000^e	Les informations géologiques interviennent dans de plus en plus de thématiques (hydrogéologie, étude des sols, risques...) et nécessitent d'être actualisées constamment afin de répondre au mieux à l'évolution des besoins, en particulier dans un contexte de changement global. L'objectif est de fournir aux acteurs des territoires concernés par le Massif armoricain (i.e., Bretagne, Pays de la Loire, Normandie, Nouvelle-Aquitaine) une carte géologique numérique harmonisée incluant les données scientifiques et techniques les plus actualisées possibles et distinguant les formations superficielles (couverture sédimentaire et régolithe) des formations du socle.	Prioritaire 1
P2	Recharge spatialisée de l'échelle de la parcelle à l'échelle régionale	Ce projet se base sur les développements menés dans le cadre du projet BOSCO (https://www.spaceclimateobservatory.org/fr/bosco), mené par l'OSUR (L. Longuevergne – 2021-2023) qui a permis de co-construire un service d'estimation de la teneur en eau sur le territoire breton à très haute résolution spatiale et temporelle, pertinente pour la gestion agricole et des ressources en eau. Les objectifs du projet sont notamment de I) développer les capacités d'estimation et de suivi (1) de l'eau accessible dans les sols et (2) de la recharge à l'échelle de la parcelle, et des outils d'agrégation à des échelles pertinentes pour chaque acteur. Intégrer des produits dérivés et les valider sur des observations in-situ. II) Former les acteurs à utiliser ces données et les intégrer dans leurs pratiques quotidiennes. III) Aller vers une opérationnalisation du produit.	Non prioritaire
P3	Indicateurs piézométriques pour la gestion de la sécheresse hydrogéologique sur un département breton	Le projet a pour objectif d'établir des indicateurs piézométriques pour la gestion de la sécheresse hydrogéologique sur un département breton et sur cette base, élaborer des cartes d'anticipation des secteurs en tension hydrogéologique lors de l'étiage 2025. Ce projet pourrait être proposé dans un premier temps à un premier département breton (comme les Côtes d'Armor, en lien avec les réflexions de la DDTM22 (Service Environnement, MISEN) et les besoins exprimés par le SDAEP22), et pouvoir le décliner ensuite sur les autres départements (dans le cadre d'un autre projet).	Non prioritaire
P4	Interactions nappes rivières à l'échelle régionale	Dans un contexte de tensions sur les ressources en eau, une gestion dynamique de ces ressources superficielles et souterraines va devenir de plus en plus importante. Ce projet a pour objectifs de rapprocher les résultats de différentes études menées sur les temps de résidence, les datations des temps de transfert, le déploiement de modèles numériques, qui peuvent apporter une nouvelle vision des échanges nappes-rivières à l'échelle régionale et ainsi améliorer les connaissances sur les échanges nappes-rivières à l'échelle régionale dans le but de fournir les informations nécessaires à l'évaluation d'impact des prélèvements et d'aménagement sur les bassins versants. Ce projet a également comme objectif d'améliorer les capacités de projection de l'évolution des ressources en eau et de définir les temps de transfert représentatifs dans les aquifères à l'échelle régionale.	Prioritaire 2
P5	Déploiement de l'outil MétéEAU Nappes sur 25 piézomètres bretons	Le site web MétéEAU Nappes et sa plateforme associée développés par le BRGM permettent, pour des points de surveillance du niveau des nappes (piézomètres) associés à un modèle, la visualisation en quasi temps réel des données brutes et valorisées issues des mesures effectuées sur le réseau piézométrique national. La Phase 1 vise à déployer l'outil MétéEAU Nappes sur 25 piézomètres d'intérêt parmi les 52 points du réseau piézométrique régional géré par le BRGM. Ces premiers points seraient ensuite complétés, au travers d'une seconde phase, par le déploiement de l'outil MétéEAU Nappes sur le reste du territoire de la région Bretagne, au droit d'autres piézomètres et notamment ceux gérés par les collectivités locales et/ou les syndicats intéressés.	Prioritaire 1
P6	Thermie des cours d'eau – mécanismes, évolutions et impacts	L'impact des variations climatiques sur la thermie des cours d'eau reste peu exploré à ce jour. L'objectif du projet est de quantifier les échanges thermiques entre nappes et cours d'eau afin d'évaluer la capacité des nappes à maintenir des refuges thermiques pour les espèces. Ce projet a donc une forte composante exploratoire et nécessite des compétences multiples.	Non prioritaire
P7	Méthodologie d'évaluations de la vulnérabilité des ressources exploitées face aux variations climatiques	Le projet a pour objectif de définir une méthodologie d'évaluation des pertes des productivités des ressources exploitées à l'échelle d'un territoire à partir de l'analyse conjointe des données de production historiques, des données climatiques et des données d'état de la ressource. Cette méthodologie a pour vocation à être répliquable. Les actions menées dans ce projet sont la collecte de données de production, la comparaison des évolutions de production face aux variables climatiques (précipitations, évaporation) et aux variables d'état des ressources en eau (débit des cours d'eau et niveaux piézométrique), la production d'une cartographie à l'échelle de l'EPCI de la dépendance des territoires face aux variations climatiques et l'identification des vulnérabilités du territoire.	Non prioritaire
P8	Modélisation des risques d'intrusions salines face aux changements globaux	L'objectif de ce projet est d'évaluer par modélisation l'impact des changements globaux sur la position du biseau salé. En effet, les connaissances sur les intrusions salines à l'échelle régionale sont aujourd'hui lacunaires. Peu de situations problématiques sont identifiées, non pas en raison de leur inexistence mais probablement par manque d'informations. Les simulations serviront à quantifier l'impact relatif de chacun des processus et évaluer les risques pour les zones côtières. Ces informations serviront pour la communication auprès des acteurs pour objectiver les résultats et éclairer les choix.	Non prioritaire
P9	Impact des arrêts sécheresses sur les usagers et ressources en eau	Le projet vise à évaluer l'impact des arrêts sécheresses sur les usagers et sur les ressources en eau, ainsi que de développer un outil de communication et de quantification des arrêts sécheresses. Plusieurs actions seront menées : 1) basée sur une approche socio-économique concernant les usagers, évaluer l'impact des arrêts sur leurs comportements et notamment les jugements portés en termes de pertinence, de justice et d'efficacité, les savoirs sur les mécanismes de décision et sur l'état de la ressource, les conséquences concrètes sur les activités et l'éventuel enclenchement de stratégies d'adaptation à moyen/long-terme. 2) l'évolution des consommations par l'analyse des consommations de 2022 face aux décisions politiques de restrictions d'usage et aux variations climatiques. 3) réaliser une modélisation d'un bassin versant pour tester la réponse de celui-ci aux actions identifiées dans les axes précédents.	Prioritaire 3



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Bretagne

Adresse 2 rue de Jouanet

35700 Rennes

Tél. : 02 99 84 26 70

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm