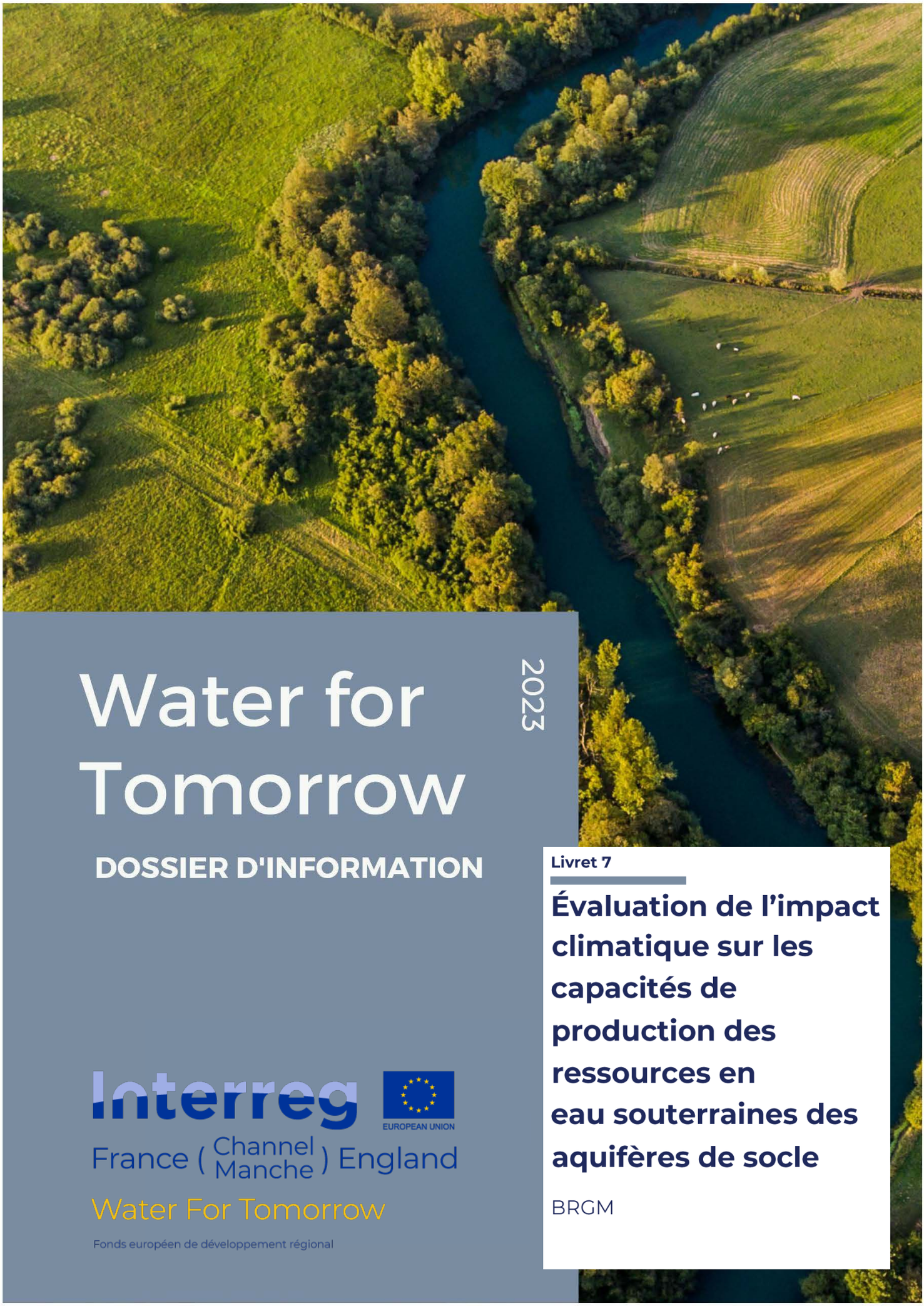

Water for Tomorrow

2023

DOSSIER D'INFORMATION

Livret 7

Évaluation de l'impact climatique sur les capacités de production des ressources en eau souterraines des aquifères de socle

BRGM

Interreg
EUROPEAN UNION
France (Channel Manche) England
Water For Tomorrow
Fonds européen de développement régional

Interreg
EUROPEAN UNION
France (Channel Manche) England
Water For Tomorrow
Fonds européen de développement régional

EUROPEAN UNION

Le projet Interreg Channel Manche Water for Tomorrow est financé par le Fonds européen de développement régional

Le partenariat:

WRE
WATER RESOURCES EAST

The Rivers Trust

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Environment Agency

Communauté d'Agglomération
Béthune-Bruay
Artois Lys Romane

www.water-for-tomorrow.com

Livret 7

Évaluation de l'impact climatique sur les capacités de production des ressources en eau souterraines des aquifères de socle

BRGM

Les ressources en eau souterraines exploitées pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) à l'échelle de la Bretagne sont composées de puits peu profonds (Figure 1) et de forages, situés dans un contexte géologique d'aquifères de socle (ex : granites et schistes).

Les aquifères de socle (Encadré 1) ont une structure et des spécificités qui doivent être prises en compte pour une évaluation des ressources existantes et une prévision de leur évolution. Compte tenu de la forte hétérogénéité spatiale de ces aquifères, les ressources en eau y sont généralement plus petites, plus réparties sur le territoire mais aussi moins bien connues et suivies. De ce fait, leur quantification est complexe et les méthodes de gestion, développées généralement pour les grands aquifères sédimentaires, ne sont pas adaptées et peuvent conduire à des actions de gestion de la ressource inappropriées.

De plus, du fait de leur volume limité et de la proximité avec la surface, ces ressources sont particulièrement vulnérables aux variations climatiques.

Pour prévoir l'évolution de ces ressources particulières, il est donc nécessaire de développer des méthodes pour :

1- Évaluer sur un territoire hétérogène les ressources disponibles ;
2- Identifier et quantifier le lien entre variations climatiques et disponibilité des ressources en eau ;
3- Quantifier la disponibilité spatiale mais aussi temporelle des ressources existantes.

Dans le cadre du projet « Water for Tomorrow », ces éléments ont été investigués sur le site pilote Sud-Finistère, afin de renseigner sur l'évolution future des ressources en eau souterraines utilisées pour l'approvisionnement en eau potable du territoire (Cf. livret 13 « Anticiper les besoins de sécurisation des systèmes d'alimentation en eau potable : construction d'un modèle hydro-économique » du dossier d'information Water for Tomorrow). Ce travail a été réalisé par le BRGM, en lien avec les collectivités du territoire

Figure 1 : Captages de sub-surface sur le territoire de la Communauté de Communes Presqu'ile de Crozon Aulne Maritime

Encadré 1 : Les aquifères de socle

Ces aquifères ont une structure stratiforme découlant de l'altération. De la surface vers la profondeur :

Les altérites constituent un horizon meuble provenant de la décomposition in situ de la roche. Ces altérites ont une porosité effective importante elles sont donc souvent considérées comme ayant un rôle de stockage de l'eau. En revanche leur conductivité hydraulique, permettant les écoulements, est généralement faible.

En dessous, l'horizon fissuré a une fissuration très dense dans les premiers mètres qui décroit avec la profondeur. Cet horizon fissuré peut avoir localement une forte conductivité hydraulique et permet l'écoulement dans l'aquifère.

En dessous de l'horizon fissuré, la roche saine n'est perméable que très localement à la faveur de fractures qui permettent les écoulements et le drainage du milieu environnant.

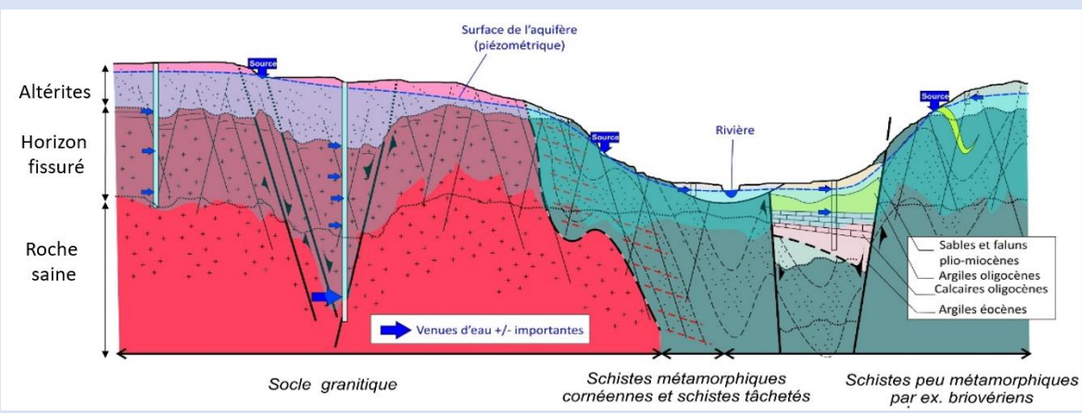

Figure 2 : Modèle conceptuel des aquifères de Bretagne (Modifié de Schroëtter et al., 2020)

Ce document s'adresse à tous les gestionnaires de la ressource en eau cherchant à anticiper l'évolution des capacités de production. Ces travaux ont un intérêt à l'échelle du site d'exploitation pour évaluer les évolutions de production et à l'échelle du syndicat des eaux ou

de l'EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale) où la gestion simultanée de ressources de type différents (puits, forage, retenue, prise d'eau en rivière) nécessite une connaissance précise de l'état des ressources mais aussi de leurs possibles évolutions. Ces travaux ont aussi des implications à l'échelle départementale, voir régionale, où le jeu des interconnexions du réseau AEP nécessite une vision large et une connaissance des dynamiques pour anticiper et effectuer des choix de sécurisation de l'approvisionnement. L'approche développée ici cherche à être suffisamment précise pour un territoire documenté, mais aussi suffisamment générale pour une application sur des territoires où les données ne sont pas accessibles.

Méthodologie

La méthodologie développée consiste en une comparaison : des données historiques de production d'eau des sites d'exploitation, des variables climatiques (précipitations et évapotranspiration potentielle) et des variables d'état de la ressource en eau dans le milieu naturel (niveaux piézométriques, débits des cours d'eau). Cette comparaison basée sur des données historiques a été menée à l'échelle annuelle mais aussi sur des échelles pluriannuelles pour prendre en compte la variabilité des situations, notamment les alternances entre années humides et années sèches.

À l'échelle annuelle, une comparaison des variations de production mensuelles et des niveaux piézométriques permet de définir l'impact de l'état de la ressource sur les capacités de production et notamment la baisse de production en période estivale. Appliquée aux différents types de ressources (puits, forages), cette démarche permet d'évaluer la résilience des ressources souterraines en été et les mécanismes de report vers d'autres ressources aux modes d'exploitation différents telles que les ressources superficielles.

L'analyse a été complétée par une évaluation des liens entre capacités de production et variations climatiques de long terme au travers d'une analyse de tendance suivant l'équation suivante :

$$A_i = \frac{m_i - \overline{m}}{\sigma_m}$$

Avec m_i la valeur mensuelle lors de l'année *i*, $\overline{m}$ la moyenne pour ce mois sur l'ensemble des années de la série et σ_m l'écart type pour ce mois sur l'ensemble de la série temporelle. Une moyenne mobile sur 12 mois est ensuite appliquée sur les anomalies mensuelles A_i. Cette analyse permet de filtrer les variabilités de court terme (saisons) afin de dégager les variabilités de long terme et de pouvoir évaluer l'impact des sécheresses. Elle sert à identifier les tendances d'évolution pouvant être liées au changement climatique (ex : tendance générale à la baisse, amplification des extrêmes) et permet une comparaison des années entre elles.

La combinaison de ces analyses court et long terme permet d'évaluer comment les variations climatiques futures pourront impacter les capacités de production des ressources souterraines.

Résultats

Le développement de l'analyse a été effectué sur le territoire du site pilote Sud-Finistère, couvrant 6 EPCI. Une analyse détaillée a été réalisée sur 4 de ces EPCI. Seul un exemple est présenté ici, celui de Douarnenez Communauté, avec ses 5 sites de prélèvement : Kergaouledan, composé majoritairement de puits peu profonds, deux ressources superficielles (Keratry et Keryanes) et deux forages (Botcarn). Les sites où les analyses ont été conduites ont été sélectionnés en fonction de la disponibilité de données complètes. Des comparaisons ont ensuite été réalisées avec les sites ne disposant que de données partielles. Les similitudes observées dans les jeux de données (complets et partiels) valident les possibilités d'extrapolation à des sites dépourvus de données.

Sur une échelle annuelle, la baisse de production des puits en relation avec les baisses de niveaux piézométriques est illustrée Figure 3. L'été, les baisses de niveaux piézométriques (Figure 3A) induisent des baisses de production sur ces ouvrages (Figure 3B). Cette baisse est directement liée à la disponibilité de la ressource compte tenu du fait que cette ressource est la ressource principale exploitée au maximum de ces capacités. Ce lien est notamment illustré pour l'année 2012 (courbes vertes sur la Figure 3A et 3B) où les niveaux piézométriques historiquement bas du début d'année (janvier-avril) correspondent aux minimum de production du site sur la même période, et la recharge tardive de mai, historiquement élevée, induit les maximums de production sur la période mai-novembre, par rapport aux autres années. Les forages profonds gardent eux une capacité de production constante toute l'année (Figure 3C).

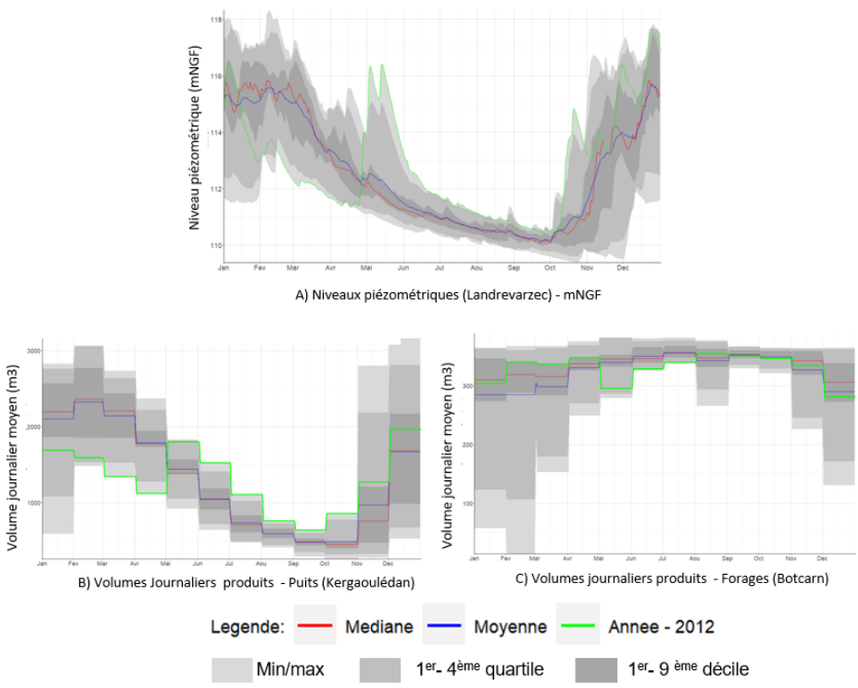

Figure 3 : Comparaison entre les niveaux piézométriques annuels et les productions par sites de différents types. En A) le piézomètre non influencé de Landrevarzec (BSS000XCWZ) fait partie du réseau de suivi national des eaux souterraines.

Ces observations du lien entre niveau de la ressource et production peuvent aussi être observés sur les cycles pluriannuels. Les écarts aux normales mensuelles normalisées pour les précipitations (en noir), la production des puits (en bleu) et la production des forages (en rouge) à l'échelle de la commune sont présentés Figure 4. Ces représentations montrent que les grands cycles des précipitations se reportent dans les mêmes amplitudes sur les puits, montrant à la fois l'impact annuel et pluriannuel. La production des forages est en revanche peu corrélée aux variations de précipitations.

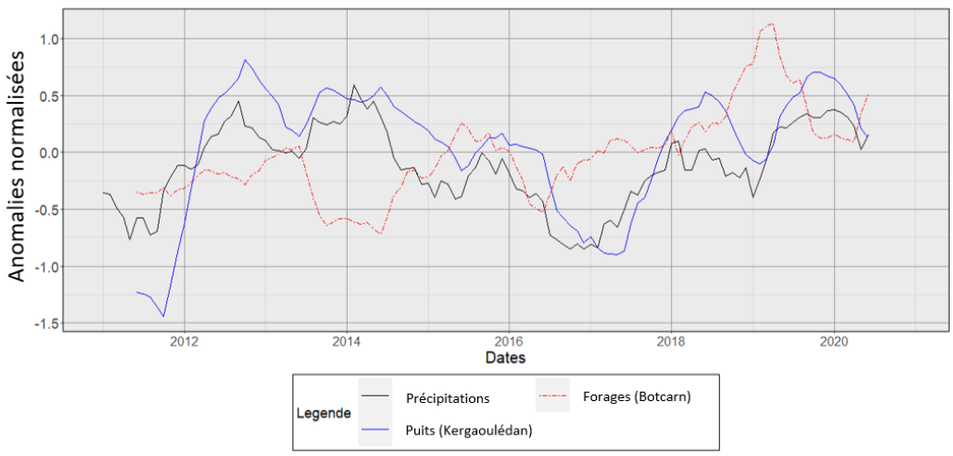

Figure 4 : Écart par rapport aux normales lissées sur 12 mois des précipitations (en noir), de la production d'une ressource de type puits (bleu) ou forage (rouge).

Ces travaux ont permis de généraliser les comportements analysés à l'ensemble des ressources souterraines du territoire.

Leçons tirées

La méthodologie développée permet de quantifier les liens entre capacités de production des ressources en zone de socle et variations climatiques. Appliquée au site pilote Sud-Finistère, cette méthodologie montre que les ressources en eau de socle sont très dépendantes des variables climatiques, mais aussi que l'impact sur les capacités de production dépend beaucoup du type d'exploitation. Les puits et captages de très proche sub-surface (5-10 m) ont de fortes baisses de productivité estivales (de l'ordre de 50 %) alors que les forages plus profonds (20-100 m) restent peu affectés par ces variations climatiques. Les ratios de production entre septembre et février par types de ressources sont présentés Figure 5. Sur cette illustration, des sites d'exploitations mixtes, composés à la fois de forages et de puits, situés sur le territoire du site pilote Sud-Finistère sont aussi présentés.

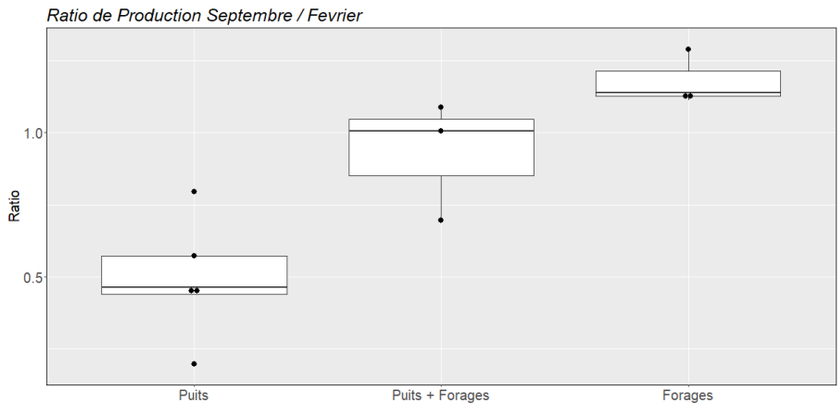

Figure 5 : Ratios de production en septembre par rapport à la production de février. Statistiques sur les sites disposant de données sur le site pilote Sud-Finistère

Ces pertes de productivité sont amplifiées lors des périodes de sécheresses. De ce fait, des sécheresses plus fréquentes et plus intenses telles que prévues dans de nombreuses projections climatiques devraient diminuer les capacités de production de ces ressources. Ces baisses de production annuelles et pluriannuelles mettent en avant la très forte vulnérabilité de l'approvisionnement en eau potable du territoire aux variations climatiques. Les analyses montrent que cette vulnérabilité provient en grande partie de la faible résilience des ressources de proche sub-surface largement utilisées sur le territoire. Cependant, ces travaux montrent aussi que les forages, bien qu'ayant une productivité moindre, sont moins affectés par les variations climatiques et sont plus résilients. La mise en avant de la résilience des forages profonds permet de produire des recommandations de gestion notamment sur l'implantation de forages sur les sites exploitant actuellement uniquement des puits. Cette mesure n'augmenterait pas directement les ressources disponibles, mais permettrait d'en augmenter la résilience face aux sécheresses comme le montre le ratio Figure 5 des sites composés de puits et de forages.

Les prochaines étapes

Ces travaux permettent de répondre aux objectifs d'une meilleure prévision des ressources en eau à l'échelle d'un territoire en prenant en compte les spécificités des territoires de socle. La prochaine étape consistera à rendre opérationnel pour les gestionnaires de la ressource ces méthodologies et résultats. Ceci peut être réalisé au travers de différentes actions.

La première, réalisée dans le cadre du projet Water For Tomorrow, a consisté à intégrer ces résultats dans un outil d'aide à la décision. L'étude présentée ici a permis de renseigner l'évolution future des ressources dans un modèle hydro-économique de l'approvisionnement en eau potable du site pilote Sud-Finistère (Cf. livret 13 « Anticiper les besoins de sécurisation des systèmes d'alimentation en eau potable : construction d'un modèle hydro-économique » du dossier d'information Water for Tomorrow). Différents scénarios de productivité des ressources, basés sur les données historiques, ont été construits pour des scénarios climatiques moyens, de sécheresse et de sècheresse amplifiée (correspondant aux projections climatiques futures), afin de simuler leurs impacts avec le modèle.

Une seconde action vise à permettre une gestion opérationnelle sur des temps courts en utilisant les systèmes de suivi des aquifères en temps réel (ex : outil MéteEau Nappes du BRGM - https://meteeaunappes.brgm.fr/fr) permettant des prévisions pour non plus prévoir uniquement les variations de niveau de nappes mais aussi les impacts sur les capacités de production en intégrant les effets climatiques.

La dernière action est la communication sur ces notions de variabilité auprès de l'ensemble des acteurs de l'eau.

Les points clés

- Développement d'une méthodologie permettant de quantifier l'impact des variations climatiques de court terme (variations saisonnières) et long terme (changement climatique) sur les capacités de production des ressources en eau en domaine de socle.
- Sur le site pilote Sud-Finistère, les ressources de sub-surface (5 à 10 m) ont des diminutions de production de 50% en moyenne l'été alors que les forages (20 à 100 m) maintiennent leurs capacités de production.
- Illustration de la vulnérabilité, face aux variations climatiques, de la productivité des ressources souterraines sur le territoire du site pilote.
- Les résultats obtenus sur les sites étudiés en détails peuvent être généralisés aux sites où les données disponibles sont plus limitées.
- La méthodologie fournit des informations sur l'impact des variations climatiques dans des contextes ou des modélisations hydrogéologiques ne peuvent être réalisées faute de données ou connaissances.

Pour aller plus loin

Utilisation de ces résultats pour informer un modèle hydro-économique et son utilisation participative sur le site pilote Sud-Finistère :

Livret 13 « Anticiper les besoins de sécurisation des systèmes d'alimentation en eau potable : construction d'un modèle hydro-économique » du dossier d'information Water for Tomorrow

Livret 14 « Allier démarche participative et modélisation pour construire une stratégie collective de sécurisation de l'alimentation en eau potable » du dossier d'information Water for Tomorrow

La démarche en vidéos :

https://www.youtube.com/playlist?list=PLfgMUGQz1vBMi_3sqNKUJ4EfNL49HN5I3

Analyse multicritère de données de forages en Bretagne :

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.

Systèmes de suivi des aquifères en temps réel :

Site MétéEau Nappes : https://meteeaunappes.brgm.fr/fr

Livret 12 « Adaptation précoce à la sécheresse : le potentiel de l'application web MétéEAU Nappes» du dossier d'information Water for Tomorrow

Contact : Alexandre Boisson (BRGM) a.boisson@brgm.fr

Liste des livrets

LIVRET 1 Cartes des prélèvements en eaux souterraine pour l'East Suffolk

LIVRET 2 Modélisation Participative

LIVRET 3 Mieux comprendre les parties prenantes : création du SuperWAG dans l'East Suffolk

LIVRET 4 Quelles évolutions de l'irrigation dans un futur proche ? Réalisation d'une enquête sur le territoire du bassin de la Lys

LIVRET 5 Évaluation des puits d'eau potable pour le réseau de suivi d'eau piézométrique et limnimétrique

LIVRET 6 Diagnostic de l'équilibre ressources-besoin à long-terme sur un territoire historiquement peu soumis aux sécheresses

LIVRET 7 Évaluation de l'impact climatique sur les capacités de production des ressources en eau souterraines des aquifères de socle

LIVRET 8 Étude d'impact, une enquête auprès du secteur agricole

LIVRET 9 Modélisation des ressources en eau

LIVRET 10 La modélisation pour l'aide à la décision

LIVRET 11 Visualiser la gestion future des bassins versants

LIVRET 12 Adaptation précoce à la sécheresse : le potentiel de l'application web MétéEAU Nappes

LIVRET 13 Anticiper les besoins de sécurisation des systèmes d'alimentation en eau potable : construction d'un modèle hydro-économique

LIVRET 14 Allier démarche participative et modélisation pour construire une stratégie collective de sécurisation de l'alimentation en eau potable

LIVRET 15 Implication des parties prenantes du bassin versant de la rivière Lark dans le domaine de la gestion de l'eau

LIVRET 16 Implication des parties prenantes dans la région 'East Suffolk'

LIVRET 17 Monitoring des ressources en eau sur le site pilote de Broadland

LIVRET 18 Projet de résilience pour les ressources en eau du bassin versant de la rivière Granta

Livret 19 Installation des réseaux piézométriques, limnimétriques et les stations météorologiques

LIVRET 20 Instrumentation et intégration des données piézométriques, de forage AEP, limnimétrique et de la qualité de l'eau dans le logiciel de suivi

LIVRET 21 Mise en place d'un réseau efficace de surveillance des eaux souterraines

LIVRET 22 Essai de simulateur de pluie dans la rivière Yox

Partenaires du projet

The Rivers Trust (Partenaire chef de file)

Cheffe de projet Water for Tomorrow
Ukwuori Fadayiro
Email : ukwuori.fadayiro@theriverstrust.com

BRGM

Noémie Neverre
Économiste de l'environnement
Email : n.neverre@brgm.fr

Water Resources East

Julia Beeden
Cheffe de projet
Email: juliabeeden@wre.org.uk

Environment Agency

Huw Richards
Chef de projet Water for Tomorrow
Email: huw.richards@environment-agency.gov.uk

CABBALR

Florine Decoufour
Chargée de mission Eau Potable
Email : florine.decofour@bethunebruay.fr

Ces livrets sont complétées par des annexes techniques, des études de cas détaillées et des rapports. Vous les trouverez, ainsi que des liens vers certains des outils mentionnés dans ce document, sur le site web "Water for Tomorrow".

www.water-for-tomorrow.com

Water for Tomorrow