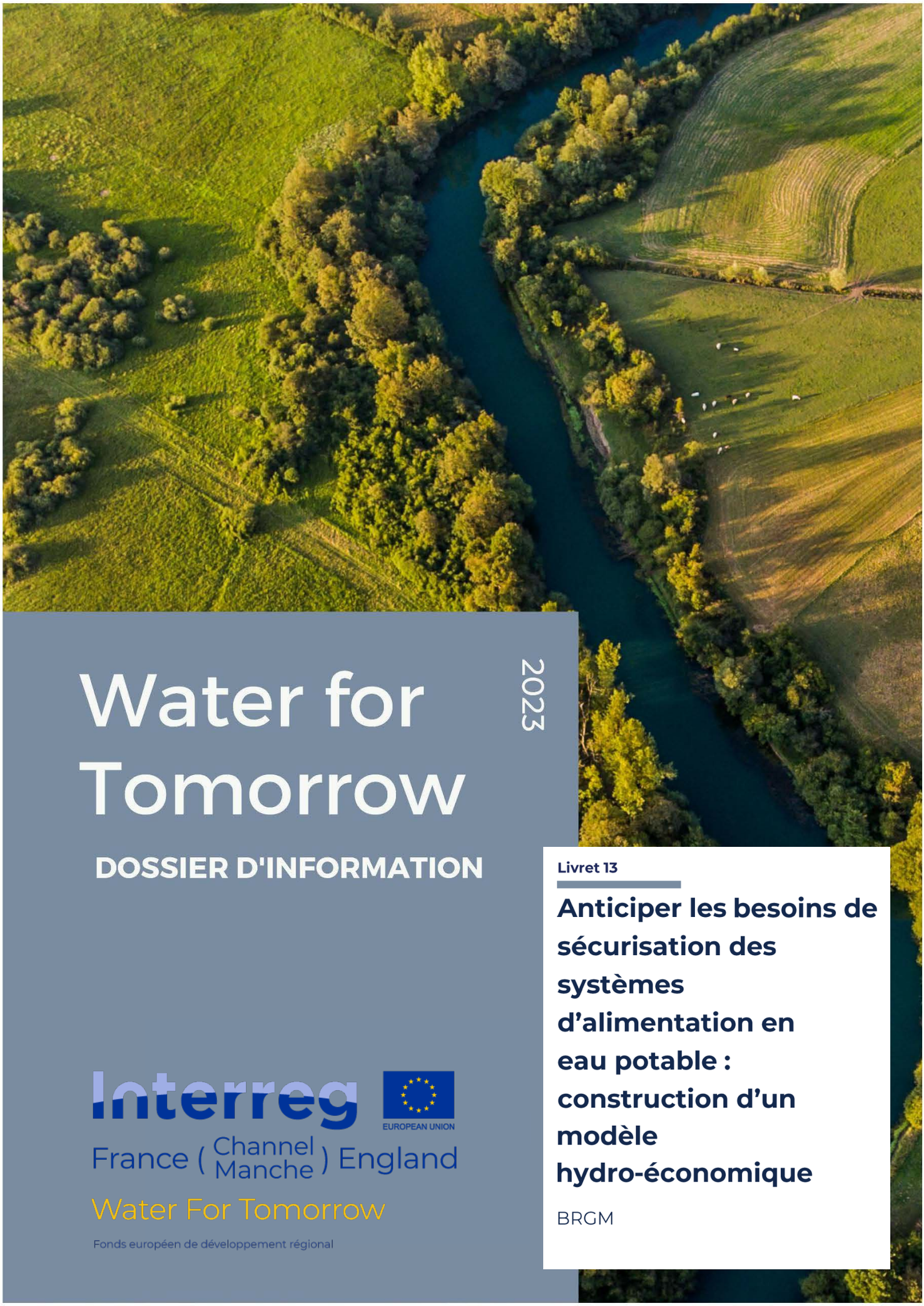

# Water for Tomorrow

2023

## DOSSIER D'INFORMATION

Livret 13

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

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 13

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

BRGM

**Pourquoi ce travail ?**

Les systèmes d'approvisionnement en eau potable (AEP) sont confrontés à des tensions croissantes. D'une part, la démographie et la hausse des activités économiques peuvent conduire à une augmentation de la demande en eau. D'autre part, les ressources disponibles peuvent diminuer sous l'effet du changement climatique ou de problèmes de qualité. Dans ces conditions, sera-t-il possible de satisfaire les besoins en eau potable à moyen-long terme, et comment ?

Il est ainsi primordial pour les collectivités de pouvoir anticiper l'impact de ces évolutions sur leurs bilans ressources-besoins futurs, et de déterminer leurs éventuels besoins de sécurisation.

Cette évaluation doit se faire à une échelle territoriale pertinente, prenant en compte le fait que les collectivités sont interdépendantes les unes des autres : d'une part au travers de l'utilisation de ressources communes (rivières, aquifères, barrages), et d'autre part au travers d'infrastructures d'interconnexions (canalisations de transfert).

Pour cela, nous proposons de développer un outil d'aide à la décision particulier : un modèle hydro-économique de l'approvisionnement en eau potable du territoire. L'intérêt de cet outil est de pouvoir explorer de multiples scénarios d'évolution des besoins en eau, de la disponibilité des ressources sous changement climatique, d'évolution des règles de gestion, etc. Il peut prendre en compte des objectifs de préservation de l'environnement (par exemple, l'obligation de respecter des débits objectifs d'étiage) et potentiellement traiter à la fois de problèmes liés à la quantité et à la qualité de la ressource. Il permet d'examiner les impacts de diverses mesures d'adaptation que les gestionnaires pourraient envisager de mettre en œuvre, et ainsi informer la construction d'une stratégie de gestion.

Dans le cadre du projet Water for Tomorrow, cet outil a été développé sur le site-pilote Sud-Finistère (Encadré 1).

**Encadré 1 : L'alimentation en eau potable du site pilote Sud-Finistère**

Dans le Sud-Finistère, six EPCI (Établissements Publics de Coopération Intercommunale) disposant de ressources locales majoritairement peu profondes, dont la productivité diminue en été, viennent se sécuriser auprès d'un syndicat de sécurisation, le Syndicat Mixte de l'Aulne (SMA). Ce dernier mobilise la ressource de la rivière Aulne, dont le débit est soutenu par la réserve de Saint Michel.

Chacun des EPCI voit ses besoins de sécurisation auprès du Syndicat Mixte de l'Aulne augmenter, face à la hausse de la demande (allongement de la période touristique) et la diminution de la disponibilité des ressources locales (étiages prolongés, problématiques de qualité). Or, la ressource de l'Aulne est elle aussi sujette à des limitations (volume de stockage disponible en soutien, débits objectifs d'étiage à respecter, impact potentiel du changement climatique sur le débit, etc.).

Dans ces conditions il n'est pas certain que le syndicat de sécurisation sera en mesure de fournir autant d'eau que nécessaire à tous ses membres dans le futur. Il y a un besoin de planification collective sur le territoire.

# Étapes de construction d'un modèle hydro-économique de l'approvisionnement en eau potable

### Représentation schématique du système d'approvisionnement en eau potable et caractérisation de ses composantes

Un modèle hydro-économique de l'approvisionnement en eau potable met en relation trois grandes composantes:

- Les besoins en eau potable ;
- Les ressources mobilisables ;
- Les infrastructures de production et d'approvisionnement permettant de faire le lien entre ces ressources et ces besoins.

La première étape consiste à réaliser une représentation schématique du système d'approvisionnement en eau potable (Figure 1). Il s'agit de recenser et caractériser tous les éléments du système, représentés dans un schéma sous forme de nœuds (points de prélèvement, stations de traitement, unités de demande) et de liens (infrastructures de transport de l'eau entre deux nœuds), de façon à :

- Déterminer quelles ressources peuvent être utilisées pour approvisionner quelles demandes, via quelles infrastructures ;
- Caractériser toutes les contraintes s'exerçant sur les capacités de production et d'approvisionnement.

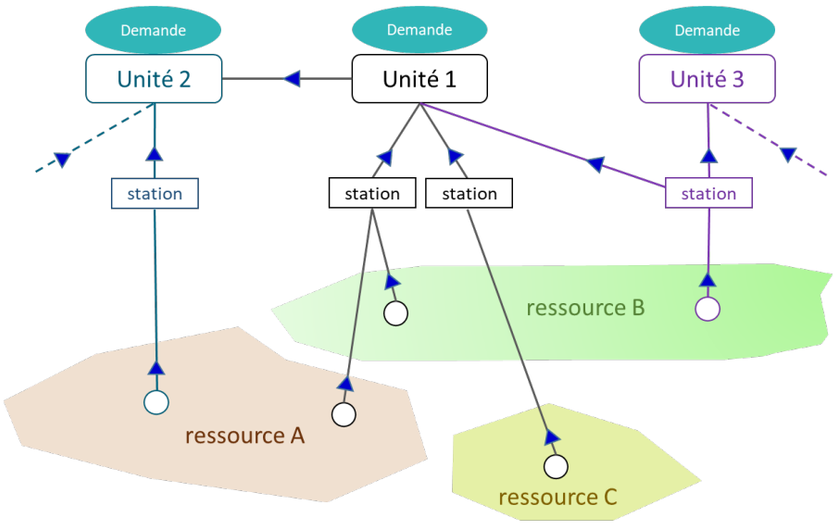


**Figure 1 : Représentation schématique du système d'approvisionnement en eau potable**

Cette schématisation s'accompagne de la constitution de bases de données caractérisant tous les éléments du schéma.

a) **Points de prélèvement**. Il s'agit de recenser tous les ouvrages de prélèvement et leurs caractéristiques, notamment la nature de la ressource prélevée (cours d'eau, aquifère, etc.) et la capacité de pompage installée et autorisée. On caractérise également les contraintes de gestion éventuelles associées à la ressource prélevée, liées par exemple à sa qualité (inutilisable ou nécessitant une dilution) ou à sa baisse de disponibilité en été (Encadré 2).

b) **Stations de traitement**. Il s'agit de recenser toutes les stations de traitement et leurs caractéristiques, notamment la capacité de traitement et le type de traitement réalisé (désinfection simple, filtre à charbon, etc.).

c) **Infrastructures de transfert.** Il ne s'agit pas ici de représenter de façon exhaustive l'ensemble des canalisations individuelles existantes mais de caractériser s'il est possible de transporter de l'eau d'un nœud vers un autre. C'est-à-dire recenser les connexions existantes entre les ouvrages de prélèvements et les stations de traitements, entre les stations de traitements et les communes approvisionnées, entre deux communes, etc., en tenant compte des éventuels nœuds intermédiaires via lesquels se font les connexions sur le réseau (ex : châteaux d'eau). Pour chacune de ces connexions recensées, il faudra également caractériser le ou les sens de transfert possible, ainsi que les éventuelles contraintes en termes de débit maximum transférable.

d) **Unités de demande**. Ce travail de schématisation permet d'identifier des zones de demandes en eau caractérisées par l'homogénéité des ressources permettant de les approvisionner. Il s'agit souvent de communes, parfois de groupes de communes, ou encore de sous-parties de communes. Pour chacune de ces unités, on caractérise la demande en eau potable, ainsi que le rendement des réseaux.

À titre d'illustration, le schéma d'approvisionnement pour la Communauté de Communes de la Presqu'île de Crozon Aulne Maritime (CCPCAM) est reproduit ici (Figure 2).

Cette représentation schématique du système sur l'ensemble du territoire constitue la base de l'architecture du modèle hydro-économique.

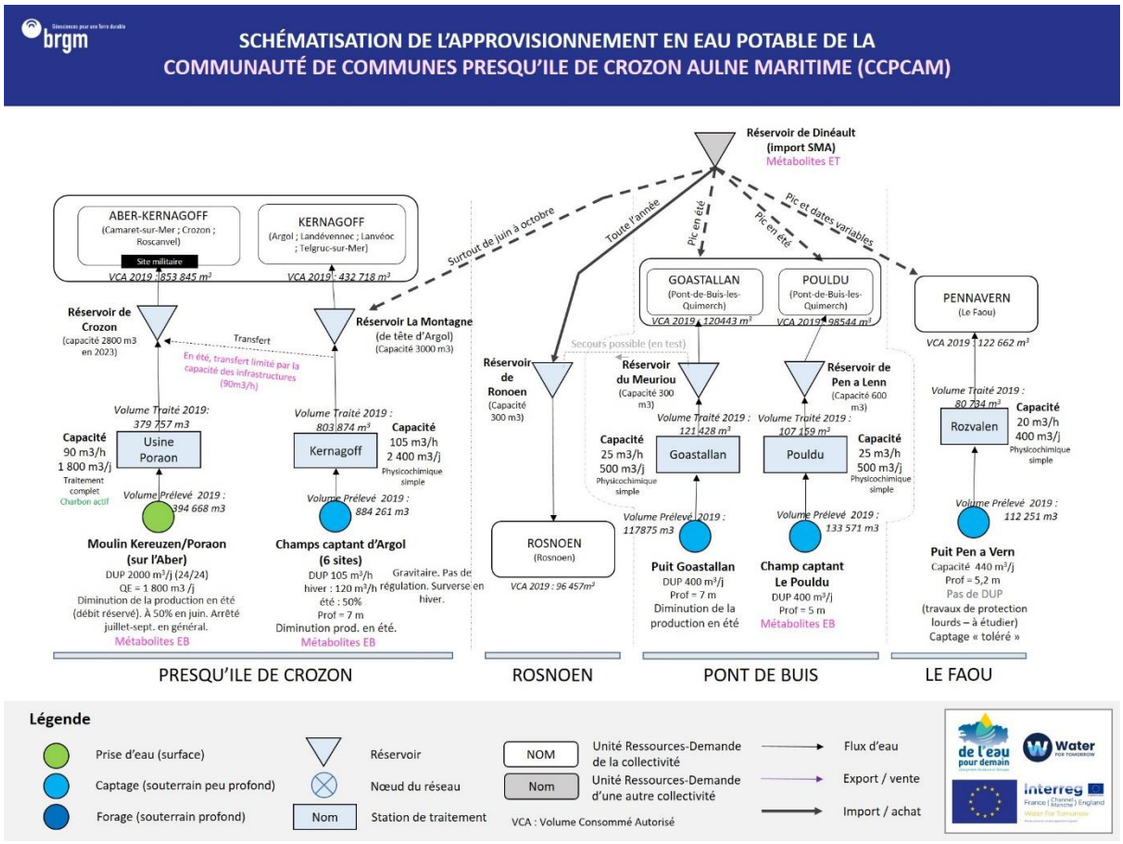


**Figure 2 : Schématisation du système d'approvisionnement en eau potable de la CCPCAM dans le site pilote du Sud-Finistère.**

**Encadré 2 : Contraintes de disponibilité des ressources en eau souterraines en été**

Sur le site pilote Sud-Finistère, une analyse hydrogéologique a été menée pour caractériser la baisse de productivité des ressources souterraines en été. L'analyse a montré que les puits et captages de proche sub-surface (5-10 m) ont de fortes baisses de productivité estivales (de l'ordre de 50 %), alors que les forages plus profonds (100 m) restent peu affectés par les variations climatiques saisonnières. Ces pertes de productivités sont amplifiées lors des périodes de sécheresses. Cette analyse a permis de caractériser les contraintes de capacités de prélèvement maximales mensuelles au niveau de chaque point de prélèvement dans le modèle hydro-économique.
Plus de détails sont disponibles dans le livret 7 « Évaluation de l'impact climatique sur les capacités de production des ressources en eau souterraines des aquifères de socle » du dossier d'information Water for Tomorrow.

### Définition du programme d'optimisation de l'approvisionnement

Le modèle hydro-économique va chercher à déterminer les prélèvements à effectuer au niveau de tous les ouvrages de prélèvement du territoire, ainsi que la répartition de ces volumes prélevés entre les différentes destinations desservies via les infrastructures existantes, de façon à :

- Satisfaire au mieux les demandes en eau potable ;
- Tout en respectant toutes les contraintes s'exerçant sur les capacités de production et d'approvisionnement ;
- Et en minimisant le coût total de l'approvisionnement.

Le coût d'approvisionnement est représenté ici par des fonctions de coût génériques de prélèvement, traitement et transport de l'eau. L'objectif n'est pas de calculer des coûts d'opération précis mais de privilégier les modes d'approvisionnement les moins coûteux. Concrètement, ces fonctions de pénalité se traduisent par le fait que le modèle va privilégier :

- Une ressource peu profonde avant une ressource très profonde, nécessitant plus d'énergie pour être pompée ;
- Une ressource proche avant une ressource lointaine ;
- Une ressource de bonne qualité avant une ressource nécessitant un traitement coûteux.

L'objectif de satisfaire au mieux les demandes en eau potable est lui aussi représenté sous forme d'une fonction de coût : le modèle va chercher à minimiser le coût associé aux situations de ruptures de l'approvisionnement. Ce coût peut être représenté de différentes manières dans le modèle en fonction des priorités d'allocation souhaitées (Encadré 3).

**Encadré 3 : Représentation du coût des situations de ruptures de l'approvisionnement**

Une première possibilité est de considérer que cela correspond au coût de la distribution d'eau en bouteille lors des épisodes de défaillance, avec un coût fixe par mètre cube manquant. Dans ce cas, le fait qu'une unité de demande soit déjà sous tension ou non ne sera pas discriminant dans le modèle, un mètre cube d'eau disponible sera alloué en priorité à l'unité de demande la plus proche. Cette formulation se traduit dans le modèle par le fait que chaque unité de gestion privilégiera d'abord la satisfaction de sa propre demande au maximum, avant de partager l'eau restante avec d'autres unités.

Une autre possibilité est de considérer que cela correspond au coût de la perte d'utilité de la population et des activités subissant une défaillance, avec un coût croissant par mètre cube manquant : le premier mètre cube manquant (ex : ne pas pouvoir arroser sa pelouse) est moins pénalisant que les suivants (ex : ne pas pouvoir prendre de douche).

En pratique, cela se traduit dans le modèle par le fait qu'il vaut mieux qu'il y ait 5% de défaillance pour 10 communes (qui devront chacune se restreindre légèrement), plutôt que 50% de défaillance pour une seule commune (qui serait beaucoup plus en difficulté). En minimisant le coût total de la défaillance, le modèle va ainsi chercher à équilibrer l'allocation de l'eau disponible entre les différentes unités de demande interconnectées du territoire.

C'est cette dernière formulation qui a été choisie dans le cas du site pilote Sud-Finistère. D'autres fonctions de pénalité complémentaires peuvent également être envisagées pour représenter les objectifs de gestion spécifiques du territoire considéré (ex : coûts additionnels sur les achats d'eau à d'autres collectivités, dits coûts de transaction, pour représenter une priorité donnée à l'utilisation de ses ressources propres avant d'avoir recours à des imports).

# Utilisation du modèle

Une fois le modèle construit et fonctionnel, il va pouvoir être utilisé de différentes façons. On peut l'utiliser pour explorer différents scénarios d'évolutions futures (évolution de la demande, évolution des ressources), et ainsi établir un diagnostic des vulnérabilités futures de l'approvisionnement. On peut également l'utiliser pour évaluer l'impact de différentes mesures d'adaptions. Ces possibles utilisations sont illustrées ici à partir des travaux réalisés sur le site pilote Sud-Finistère.

## 1. Anticiper les vulnérabilités futures de l'approvisionnement en eau potable

Face à un scénario donné, le modèle hydro-économique va déterminer l'organisation optimale de l'approvisionnement (prélèvements et allocations). En sortie de modèle, les résultats fournis seront notamment :

- Des cartes du niveau de sollicitation des ouvrages de prélèvement à chaque pas de temps ;
- Des cartes du niveau de sollicitation des usines de traitement à chaque pas de temps ;

- Des informations sur les niveaux de stock disponibles dans les éventuels réservoirs à chaque pas de temps ;
- Des cartes des éventuelles situations de défaillance de l'approvisionnement (i.e. les demandes en eau ne peuvent pas être entièrement satisfaites) à chaque pas de temps.

On propose d'illustrer ces sorties à partir des résultats obtenus sur le site pilote Sud-Finistère, où plusieurs scénarios à horizon 2050 ont été co-construits avec les acteurs locaux (Cf. 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) et simulés avec le modèle. Il s'agit de scénarios d'évolution de la demande et des ressources, ainsi qu'un scénario de crise accidentelle.

La Figure 3 illustre les impacts en termes de situations de défaillance de l'approvisionnement, pour une sélection de scénarios dans un contexte de demande accrue à horizon 2050. Les cartes de défaillance représentent la part de la demande en eau ne pouvant pas être satisfaite dans le scénario considéré, même lorsque les ressources sont utilisées et allouées « au mieux » (tel qu'optimisé par le modèle). Seul le mois d'août est illustré dans la Figure 3, mais ces cartes sont disponibles pour chaque mois de l'année. Elles permettent d'identifier quels sont les secteurs vulnérables (s'agit-il de vulnérabilités localisées, ou bien généralisées sur le territoire dans son ensemble) et de quantifier cette vulnérabilité (combien de mètres cubes manque-t-il, et pendant combien de temps).

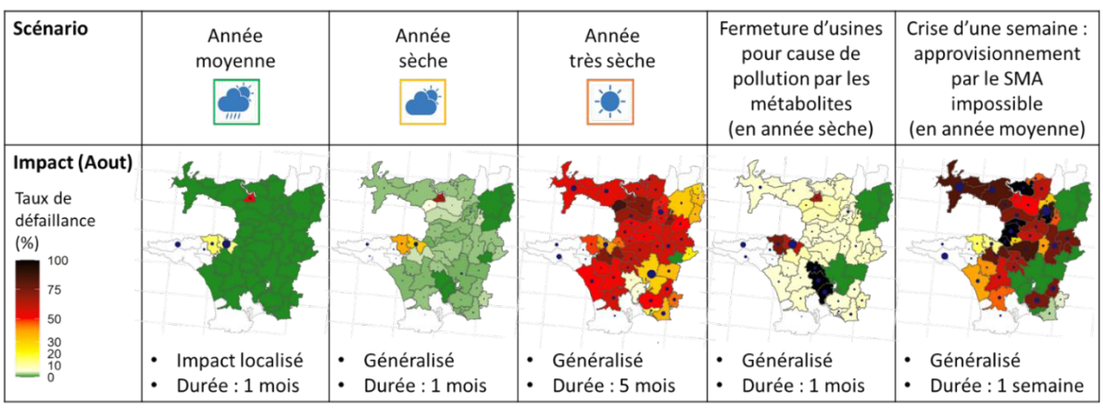


**Figure 3 : Cartes de défaillance de l'approvisionnement en eau potable au mois d'août pour différents scénarios dans un contexte de demande élevé à horizon 2050 (vert = pas de défaillance, rouge = 50% de défaillance, noir = 100% de défaillance)**

D'autres indicateurs complémentaires sont également disponibles, qui vont permettre de compléter et d'affiner le diagnostic.

Dans les cas où des situations de défaillance sont identifiées, ces indicateurs complémentaires vont permettre d'identifier le facteur limitant. Est-ce que l'on n'arrive pas à satisfaire la demande parce qu'il n'y a pas assez de ressource disponible ? Ou bien parce que les capacités de production sont saturées ? Par exemple, la Figure 4 révèle que les

défaillances des scénarios climatiques année « sèche » et année « très sèche » interviennent pour des raisons différentes. Pour l'année « très sèche », le facteur limitant provient de la réserve de Saint Michel elle-même, qui ne dispose pas d'assez de stock pour faire face aux besoins de soutien de l'Aulne (figure de gauche). Pour l'année « sèche », de l'eau est encore disponible dans la réserve de Saint Michel pour le soutien de l'Aulne, mais les capacités de production des usines du SMA sont déjà sollicitées au maximum (figure de droite), il n'est donc pas possible de produire plus.

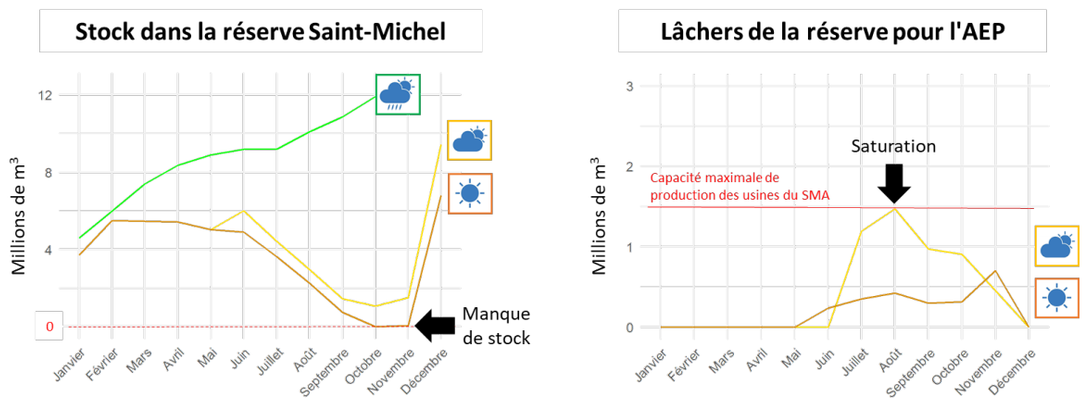


**Figure 4 : Évolution du stock dans la réserve de Saint-Michel (à gauche) et des capacités de production des usines associées (à droite) pour les années climatiques moyenne (vert), sèche (jaune) et très sèche (orange)**

Dans les cas où il n'y a pas de situation de défaillance apparente, ces indicateurs complémentaires n'en sont pas moins utiles. La Figure 5 représente le taux de sollicitation des ouvrages de prélèvement par rapport à la productivité maximale des ressources. Ces informations révèlent que dans le scénario climatique « année moyenne » la situation est déjà tendue : au mois d'août les ressources locales sont globalement utilisées au maximum de leurs capacités, et les marges de manœuvre pour faire face à tout changement ou imprévu sont donc limitées.

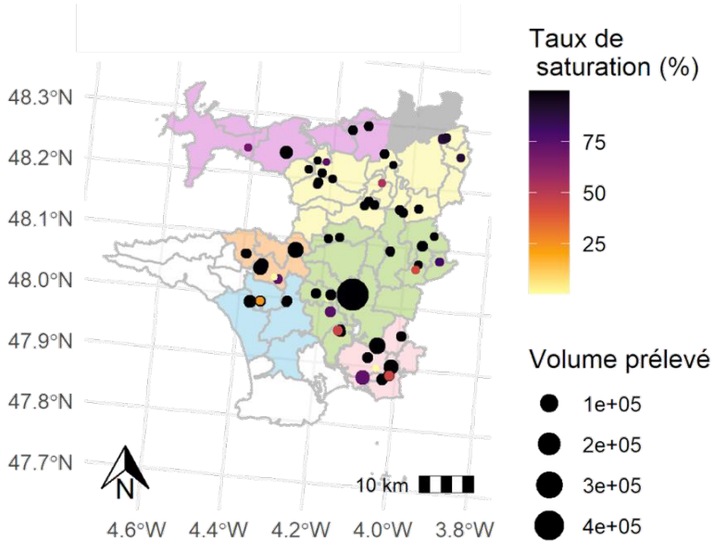


**Figure 5 : Carte de sollicitation des ressources locales par rapport à leur productivité (pour une année climatique moyenne, en Août)**

## 2. Évaluer des mesures de sécurisation

Face à ce diagnostic des vulnérabilités, on peut dans un deuxième temps utiliser le modèle pour évaluer l'impact de différentes mesures d'adaptation. Celles-ci peuvent porter sur la maitrise de la demande, la gestion patrimoniale de réseaux, la création d'interconnexions, la mobilisation de nouvelles ressources, la modification de règles de gestion existantes, etc.

Suivant le modèle construit et les données disponibles, ces mesures peuvent être évaluées :

- En termes d'efficacité : on identifie quelles mesures ou combinaisons de mesures permettent d'éliminer le risque de défaillance ;
- En termes de coût-efficacité ou de coût-bénéfice : on confronte le coût d'implémentation de ces mesures à l'efficacité ou aux gains monétaires associés à la diminution du risque de défaillance.

Sur le site pilote Sud-Finistère, de multiples scénarios d'adaptation ont été co-construits avec les acteurs locaux (Cf. 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) et évalués avec le modèle. La Figure 6 illustre l'efficacité au mois d'août de différentes combinaisons de mesures d'adaptation face à un scénario de sécheresse étendue sous changement climatique, dans un contexte de demande accrue. On y identifie deux combinaisons de mesures qui permettent de se prémunir du risque de défaillance (la carte repasse au vert).

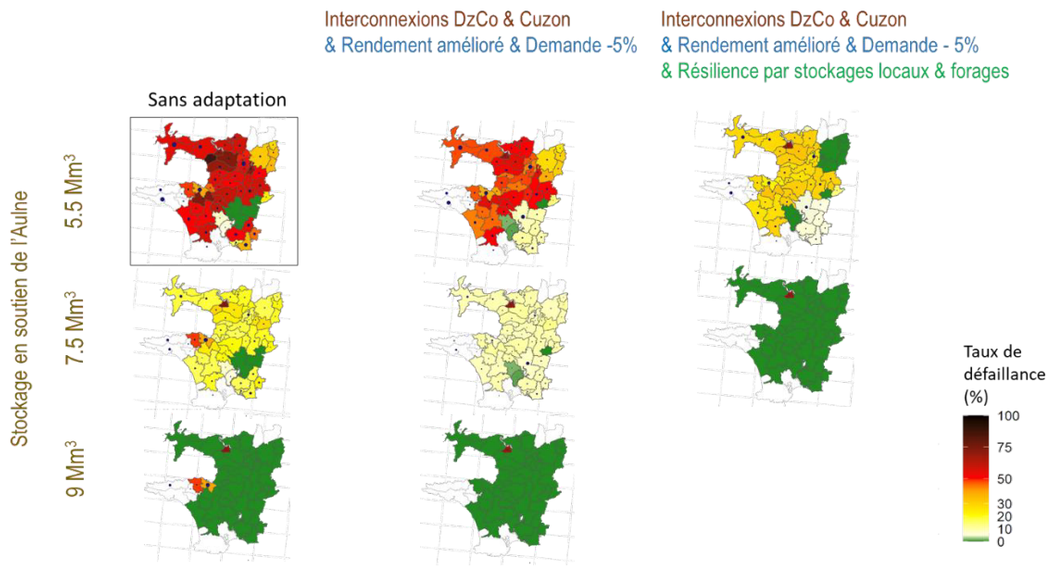


**Figure 6 : Efficacité de mesure d'adaptation face au risque de défaillance en août dans le scénario "année très sèche", dans un contexte de demande accrue à horizon 2050**

## Conclusions et leçons tirées

Le modèle hydro-économique de l'AEP développé ici est un outil exploratoire qui permet d'évaluer les impacts de différents scénarios à moyen-long terme. L'outil permet d'anticiper les éventuels déficits ressources-besoins des collectivités et leurs besoins de sécurisation, d'évaluer l'efficacité de différentes mesures et combinaisons de mesures d'adaptation, et d'ainsi informer la construction d'une stratégie de gestion. Différents types de résultats et d'indicateurs, notamment des cartographies, sont analysables en sortie de modèle pour affiner le diagnostic.

Il s'agit d'un outil modulable, adaptable à différentes problématiques et territoires. Le périmètre pertinent à prendre en compte pour la construction du modèle est à déterminer en se basant à la fois sur le périmètre des ressources en eau utilisées et sur le périmètre des collectivités utilisatrices finales de ces ressources. La représentation des contraintes de disponibilité des ressources dans le modèle et la formulation des objectifs du programme d'optimisation peuvent être adaptées en fonction des problématiques de gestion spécifiques du territoire considéré.

La phase de schématisation du système d'approvisionnement et de collecte des données est assez lourde, mais elle est essentielle pour la qualité des résultats du modèle. Elle permet en outre aux différents gestionnaires de l'eau de bénéficier d'une représentation simple mais complète du système AEP et de leurs interdépendances sur l'ensemble du territoire. L'implication des différents acteurs du territoire pour compléter et valider les données disponibles, valider les paramètres et hypothèses, et affiner la compréhension du système et de ses contraintes est un facteur clé pour la construction d'un outil fiable.

## Les points clés

- Construction d'un outil exploratoire qui permet d'évaluer les impacts de différents scénarios à moyen-long terme pour l'AEP d'un territoire.
- L'outil permet d'anticiper les éventuels déficits en eau des collectivités, leurs besoins de sécurisation, et d'évaluer l'efficacité de différentes mesures d'adaptation.
- C'est un outil modulable, adaptable à différentes problématiques et territoires.
- La phase de schématisation du système d'approvisionnement et de collecte des données est cruciale pour la qualité des résultats.

## Ressources pour aller plus loin

**Informations complémentaires sur le site pilote Sud-Finistère :**

**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

**Livret** 7 « Évaluation de l'impact climatique sur les capacités de production des ressources en eau souterraines des aquifères de socle » du dossier d'information Water for Tomorrow

La démarche en vidéos :

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

**Outils similaires sur d'autres territoires :**

Neverre N., Charlier J-B., Moiroux F., Grémont M. (2019) Schéma exploratoire pour l'alimentation en eau potable des vallées de la Moselle et de la Meurthe face à la problématique chlorures à horizon 2050. Rapport final. BRGM/RP-69310-FR, 214 p. http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-69310-FR.pdf

Neverre N., Mathey A. (2022) Modèle d'optimisation de l'approvisionnement en eau potable de la Plaine du Roussillon par rapport aux ressources disponibles. Production #15 du projet Dem'Eaux Roussillon, BRGM/RP-71532-FR, 39 p. http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-71532-FR.pdf

**Les modèles hydro-économiques de façon plus générale :**

Grémont M., Girard C., Gauthey J., Augeard B. (2015) Modèles hydro-économiques : quels apports pour la gestion de l'eau en France ? ONEMA, collection Comprendre pour agir, 20 p. https://www.gesteau.fr/sites/default/files/mhe_onema.pdf

**Contact :** Noémie Neverre (BRGM) n.neverre@brgm.fr ; Cyril Bourgeois (BRGM) c.bourgeois@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