

CONTACT PRESSE

Tél. 02 38 64 46 65
Port. 06 84 27 94 14
presse@brgm.fr

Gestion durable des eaux souterraines : de la recharge naturelle à la recharge maîtrisée

Très utilisées en France, les nappes d'eau souterraine dépendent de recharges cycliques. Quand les pluies efficaces viennent à manquer, alors que la pression des prélèvements reste élevée, des arrêtés préventifs de restriction d'usage peuvent être pris par les autorités. Pour pallier au manque d'eau en saison sèche, une solution peut consister à rediriger une partie des eaux de surface vers les roches-réservoirs du sous-sol pour un usage différé. Cette pratique nécessite une bonne connaissance hydrogéologique et une analyse des coûts et bénéfices socio-économiques.

Sommaire

- | | |
|---|-----|
| 1/ Nappes : une situation problématique dans plusieurs régions | p.2 |
| 2/ La recharge maîtrisée des aquifères, une solution au manque d'eau en été | p.6 |



1/ Nappes : une situation problématique dans plusieurs régions

Alors que la France entre dans l'été, la situation des nappes exploitées se révèle hétérogène selon les régions. Dans le Nord et le Centre très agricoles, les roches conservent en sous-sol des ressources en eau encore relativement importantes. Dans l'Ouest, l'Est ou le Sud-Est, les niveaux des nappes se révèlent beaucoup moins bons voire préoccupants.

« MODÉRÉMENT HAUT », « BAS » : UNE VISION STATISTIQUE SUR LA DURÉE

En se basant sur les niveaux fournis par les piézomètres du réseau de surveillance national, le Bureau de recherches géologiques et minières établit des indicateurs de niveau afin de faciliter l'interprétation des données. Quand un forage piézométrique dispose d'un minimum de 15 ans de données, il est jugé apte à établir des moyennes mensuelles et un écart à la moyenne. Telle nappe sera ainsi considérée comme haute ou basse par rapport à la moyenne du même mois sur au moins 15 années. Ladite moyenne évolue elle-même au fil du temps car elle ajoute les niveaux de l'année précédente. Les chroniques les plus anciennes du réseau piézométrique national remontent à plus de 100 ans.

Après une recharge particulièrement déficitaire, la période de vidange a débuté dès janvier-février avec deux à trois mois d'avance. En mai, la vidange s'est poursuivie et l'ensemble des nappes d'eau souterraine observent des niveaux en baisse. Ce constat s'explique à la fois par l'absence de précipitations notables, par l'activité de la végétation et par l'augmentation de l'évapotranspiration. Les pluies s'infiltrant dans le sol ont donc été entièrement reprises par la végétation et ont été peu efficaces pour assurer une recharge des nappes.

Les niveaux des nappes d'eau souterraine se situent généralement autour ou en-dessous des niveaux moyens des mois de mai. Cependant, l'impact de ce déficit de recharge est différent selon la cyclicité de la nappe, c'est-à-dire sa réactivité à l'infiltration d'une pluie. Les nappes inertielles (craie, formations tertiaires et formations volcaniques) ont une cyclicité pluriannuelle. Leur inertie, caractérisée par des écoulements lents, permet de conserver des niveaux peu dégradés en sortie d'hiver malgré la recharge déficitaire. Au contraire, les nappes réactives à cyclicité annuelle (alluvions, calcaires jurassiques et crétacés, grès triasiques et socle) sont très sensibles au déficit de pluie efficace. Leur situation s'est donc dégradée rapidement en fin d'hiver et durant le printemps.

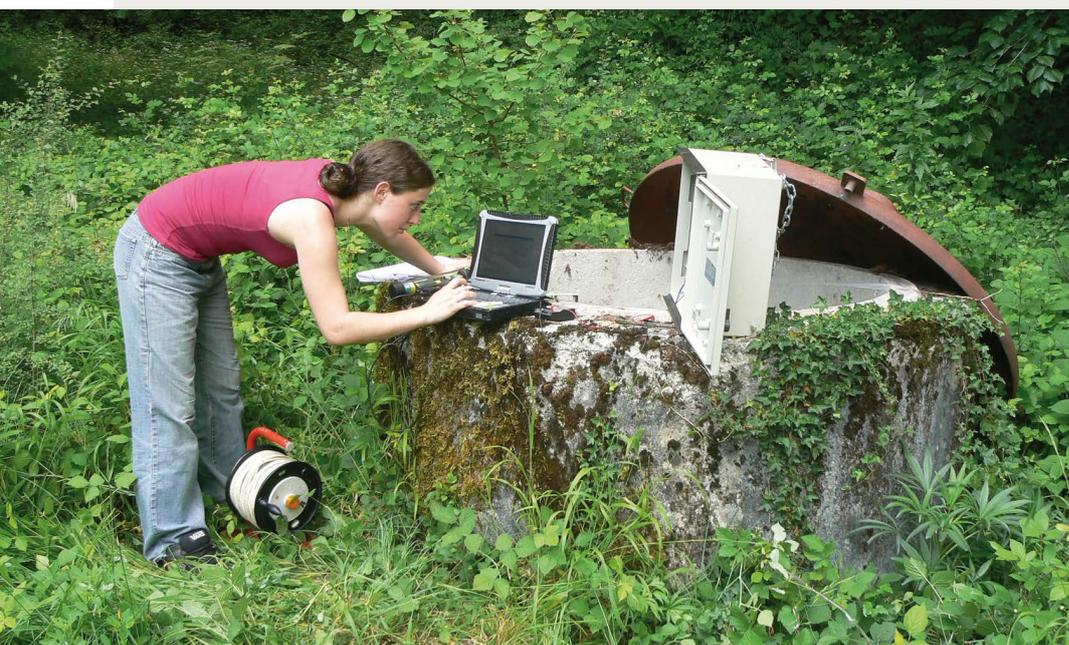
Concernant les nappes inertielles du nord de la France, la situation se détériore très lentement depuis février. En mai, la situation se dégrade du nord vers le sud. Ainsi, les niveaux restent autour de la moyenne au nord et au centre du Bassin parisien. Au sud et à l'est, les niveaux sont moins satisfaisants, de modérément bas à bas au droit de la nappe de la craie et des tuffeaux de Touraine. Au sud-ouest, les nappes alluviales de la Garonne, de la Dordogne et de leurs principaux affluents ont profité de plusieurs épisodes de recharge en mars et avril.

La situation des nappes inertielles du couloir Rhône-Saône se détériore progressivement. Les baisses de niveaux peuvent être accentuées par les prélèvements en eaux souterraines. Les niveaux sont peu favorables, de modérément bas sur les nappes des corridors fluvio-glaciaires



COMMENT LA FRANCE SURVEILLE SES EAUX SOUTERRAINES

Malgré la diversité de son sous-sol et les inconnues encore nombreuses, la France possède des bases de données très développées pour la connaissance des réservoirs aquifères du sous-sol. Elles sont aujourd'hui gérées et développées par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) en coopération avec ses partenaires. Afin de surveiller le niveau des nappes comme il est attendu dans la directive-cadre sur l'eau, **le BRGM assure le suivi du réseau national piézométrique qui comporte 1600 points de forage**. Ces derniers plongent dans le sous-sol et permettent de connaître en temps réel l'état quantitatif des grandes nappes phréatiques exploitées, les piézomètres étant pour la plupart équipés d'une technologie particulière (le GRPS) qui transmet les informations à distance. Une à deux fois par an, des techniciens se rendent sur le terrain afin de vérifier manuellement que les données envoyées par le GRPS sont conformes aux niveaux observés sur place.



Le BRGM a mis en place une base de données et un site internet associé, accessible à l'ensemble des acteurs de l'eau mais aussi au grand public : ADES. Il regroupe les informations du réseau de suivi national ainsi que celles de milliers d'autres piézomètres installés au fil des décennies par différents acteurs de l'eau. A ce jour, **le portail ADES réunit près de 19 millions de données sur les niveaux des nappes**.

La recharge maîtrisée d'un aquifère nécessite une bonne compréhension du sous-sol © BRGM

du Rhône moyen et amont à bas sur les nappes des cailloutis plio-quadernaires du Dijonnais à la Dombes et sur la nappe de la molasse miocène du Bas-Dauphiné.

Les nappes réactives souffrent particulièrement de l'absence de précipitations et leur situation se dégrade rapidement. Les niveaux sont généralement sous les normales mensuelles. Des niveaux très bas sont observés sur plusieurs secteurs peu arrosés depuis plusieurs mois : Périgord, Vendée et Maine ainsi que Côte d'Azur, Provence et Bas-Dauphiné. La situation est particulièrement préoccupante sur les nappes entre Périgord, Vendée, Maine et Touraine ainsi que sur les nappes de la Côte d'Azur, de Provence et du Bas-Dauphiné. Seules les nappes du sud-est ont enregistré des hausses de niveaux. Les pluies et la fonte des neiges ont engendré de petites crues sur les nappes alluviales des Alpes et sur les nappes des calcaires karstiques. Les nappes alluviales de la moyenne et basse Durance ont été rechargées par l'infiltration de l'eau excédentaire issue de l'irrigation gravitaire.

Des prévisions mal orientées

Les prévisions saisonnières de MétéoFrance annoncent des « conditions plus sèches que la normale » sur les deux-tiers sud de la France pour



le prochain trimestre. Aucun scénario n'est privilégié sur le nord de la France. [Les températures devraient être plus élevées que la normale sur l'ensemble du territoire.](#) Les températures élevées, la végétation active et donc l'évapotranspiration importante limitent habituellement l'infiltration des pluies vers les nappes durant le printemps et l'été. La sécheresse des sols conduit à une augmentation des prélèvements. La vidange devrait théoriquement se poursuivre et les niveaux rester orientés à la baisse durant les prochaines semaines.

L'HYDROGÉOLOGIE, UNE SCIENCE VEILLE DE DEUX SIÈCLES

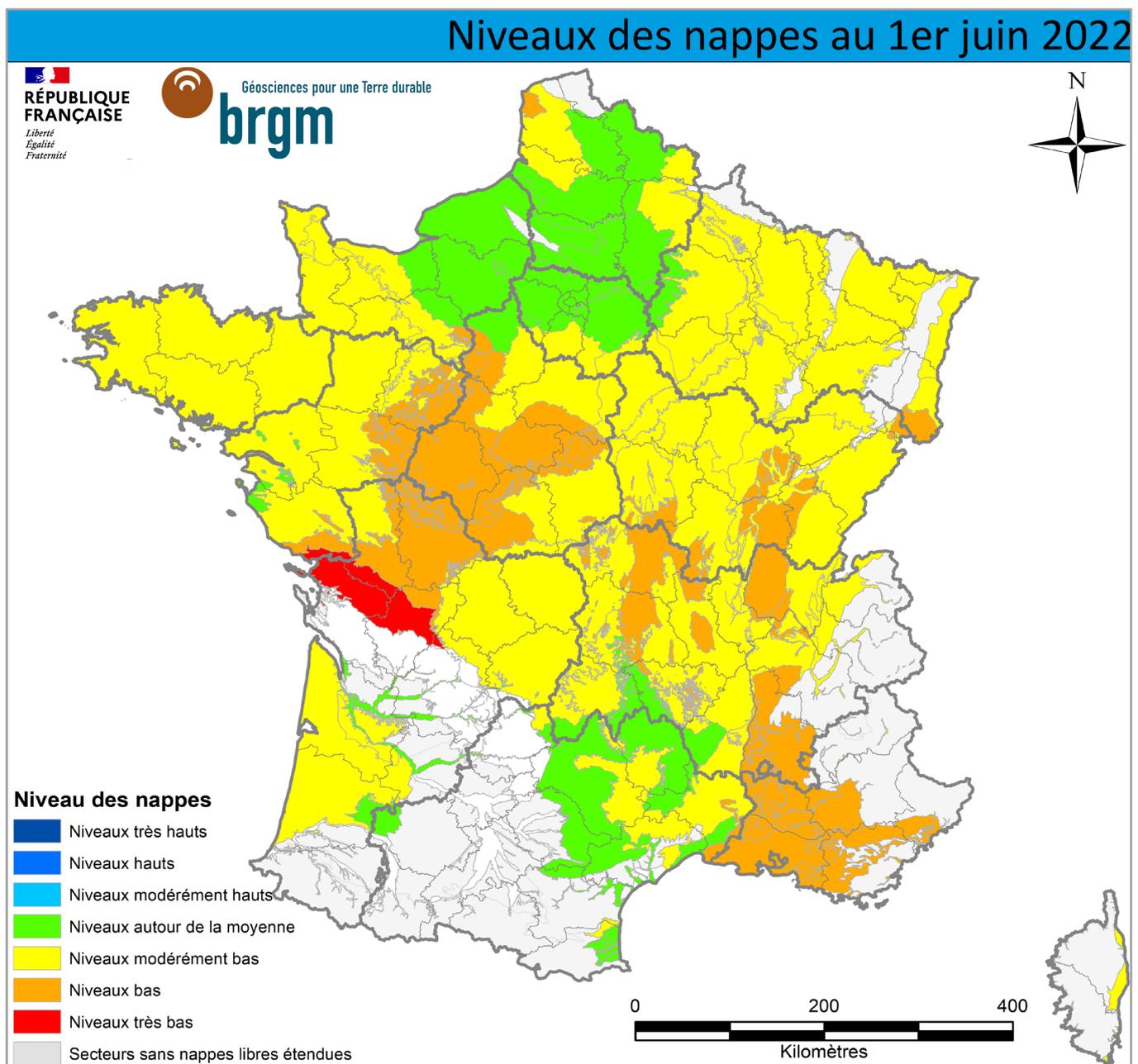
Si la connaissance empirique des eaux souterraines s'est développée au fil des millénaires avec le creusement de puits ou encore l'identification et la vénération des sources, la compréhension systématique des phénomènes d'écoulement dans le sous-sol est plus récente. **Dans les années 1850, l'ingénieur en chef de la ville de Dijon, Henry Darcy, concevait les premiers calculs fondamentaux sur l'écoulement de l'eau à travers un milieu poreux.** Le coefficient Darcy est encore utilisé de nos jours pour évaluer la perméabilité d'une couche. A cette époque, les ingénieurs français puisaient pour la première fois à 500 mètres de profondeur dans les aquifères captifs des nappes de l'Albien, dans les sédiments du bassin parisien. Quelques décennies plus tard, le fondateur de la spéléologie française Edouard- Alfred Martel exposait des théories novatrices sur l'écoulement de l'eau dans les reliefs karstiques. Au vingtième siècle, [les méthodes d'exploration](#) évoluaient et se spécialisaient.

De nos jours, **environ les deux tiers de l'eau potable consommée en France métropolitaine provient des eaux souterraines et près d'un tiers des eaux d'irrigation en sont issues**, selon les données du Ministère. Ces chiffres sont très variables à travers le monde.



Eau dans la grotte de Castelbouc

© BRGM - PHILIPPE CROCHET



Concernant les nappes inertielles, aucun épisode de recharge ne devrait s’observer, sauf événements pluviométriques très exceptionnels. Aucune amélioration n’est attendue avant l’automne. La situation devrait se dégrader plus ou moins lentement selon les volumes prélevés en eaux souterraines. Pour les nappes réactives, les tendances et l’évolution des situations dépendront essentiellement des pluies efficaces locales et des demandes en eau.

La situation devra être particulièrement surveillée sur l’ensemble des nappes réactives et notamment sur les nappes affichant des niveaux sous les normales mensuelles en mai. Les nappes inertielles de la nappe de la craie de Touraine, des cailloutis plio-quaternaires de Bourgogne-Franche-Comté et de nappe de la molasse miocène du Bas-Dauphiné devront également faire l’objet d’une attention particulière.



2/ La recharge maîtrisée des aquifères, une solution au manque d'eau en été

Utilisée depuis quelques décennies mais relativement peu répandue, la recharge dirigée des nappes phréatiques par l'homme peut représenter dans certains territoires un complément utile à leur recharge naturelle par les eaux de pluie. Cette pratique nécessite une bonne connaissance hydrogéologique et une analyse des coûts et bénéfices socio-économiques de ces dispositifs.

Les nappes d'eau souterraine, qui se révèlent très précieuses en période de faibles pluies, **dépendent de recharges cycliques**. A l'automne et en hiver, la mise en dormance de la végétation et l'absence d'évapotranspiration favorisent l'infiltration des précipitations dans le sous-sol et ainsi la hausse des niveaux. Mais lorsque les pluies se font rares, ou que les prélèvements deviennent plus importants, le niveau des nappes phréatiques peut être amené à baisser drastiquement en été, entraînant des impacts sur le débit des sources et des rivières et provoquant des restrictions d'usage parfois très pénalisantes, notamment dans l'agriculture et l'industrie. De plus, une roche-réservoir qui se vide de son eau douce peut, dans certains sous-sols, être remplacée par une eau salée qui était jusqu'ici maintenue éloignée de l'aquifère, ce qui détériorera la qualité de la nappe à long terme.

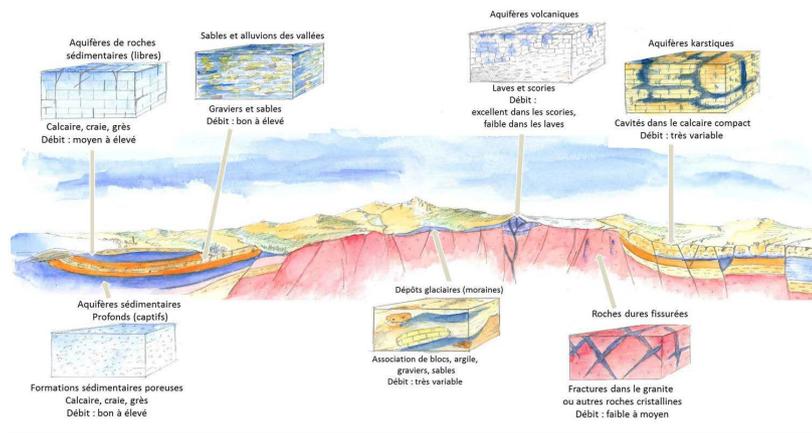


Le site suisse de recharge maîtrisée de Lange Erlen © (AquaNES)

La recharge maîtrisée nécessite une bonne connaissance du sous-sol

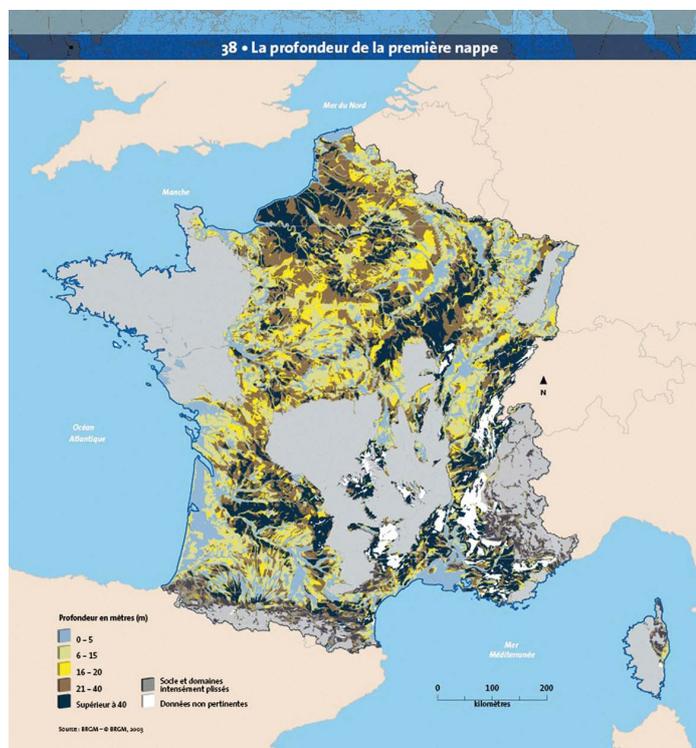
Afin de préserver le bon état quantitatif des masses d'eau, une méthode originale existe : **la recharge maîtrisée**. C'est une pratique qui vise à augmenter les volumes disponibles d'eau souterraine en favorisant, par des moyens artificiels, son infiltration jusqu'à l'aquifère. Elle fait partie d'un panel de solutions innovantes, avec la réutilisation des eaux non conventionnelles (eau de pluie ou eaux usées traitées), ou le dessalement de l'eau mer par exemple, comme les pratiques les plus souvent citées participant à une gestion optimisée de l'eau. Cette technique nécessite une bonne connaissance

du sous-sol et de la nature de l'aquifère sous-jacent. La nappe doit en effet pouvoir stocker l'eau un certain temps et dans des conditions d'interactions hydro-biogéochimiques entre l'eau et roche assurant une qualité acceptable.



Il existe plusieurs grands types d'aquifère selon la nature des roches et des structures géologiques © BRGM

La faisabilité d'un dispositif de recharge artificielle dépend en grande partie des conditions hydrogéologiques locales. La zone non saturée – où le sol joue le rôle d'intermédiaire entre la surface et la nappe – doit être en mesure de laisser l'eau s'infiltrer dans de bonnes conditions et la roche-réservoir doit pouvoir stocker l'eau reçue. Il est donc nécessaire de privilégier les sites pour lesquels on identifie une transmissivité et un coefficient d'emmagasinement adéquat. L'idée est bien que l'aquifère visé puisse retenir l'eau sur le territoire pour fournir un ou plusieurs bénéfices aux écosystèmes qui lui sont associés et aux divers usages pour lesquels il est sollicité dans les périodes de tension hydrique. Ces conditions favorables à la recharge naturelle, l'écoulement et au stockage naturel de l'eau en sous-sol peuvent être trouvées dans des formations rocheuses à porosité d'interstices (sables, grès, etc. ou à double porosité d'interstices et de fissures (craie par exemple).



Profondeur de la première nappe en France © BRGM

Problématiques locales

La recharge maîtrisée permet de soustraire l'eau aux phénomènes d'évaporation existant en surface et la rend moins exposée aux pollutions accidentelles. Elle n'est pas la solution unique et fait partie d'un panel de solutions pour la gestion intégrée de la ressource. A côté de la faisabilité technique, il faut aussi en étudier l'opportunité socio-économique, en modélisant la dimension du projet et en étudiant le rapport coûts - bénéfices attendus, aussi bien pour les usagers que pour les écosystèmes (par exemple, le soutien au débit d'étiage d'un cours d'eau en aval).

Le premier critère fondamental concernant la faisabilité d'un projet de recharge maîtrisée est la disponibilité de l'eau de recharge à proximité du site d'injection, ce afin d'assurer un apport régulier en eau et de limiter les coûts potentiels de son transport. Un aquifère

peut être alimenté à partir de plusieurs types d'eau. Les principaux sont les eaux de surface issues de cours d'eau, les eaux usées traitées



Un forage à la recherche d'eau souterraine © BRGM

CE QUE DIT LA RÉGLEMENTATION

En France, le cadre légal est donné par la loi sur l'eau. Un dispositif de recharge artificielle nécessite une demande d'autorisation préfectorale au titre de l'article R.214-1 du code de l'environnement et doit faire l'objet d'une étude d'impact. Il doit respecter la législation française et européenne sur l'eau, en particulier l'arrêté du 17 juillet 2009 modifié qui concerne la prévention et la limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines.

et les eaux de pluie. En France, en raison de choix réglementaires, seules les eaux de surface sont utilisées actuellement, comme sur les grands sites de recharge artificielle de Houille-Moulle, Croissy-sur-Seine, Flins-Aubergenville ou Crépieux-Charmy pour l'alimentation en eau potable. [Les recherches menées par le BRGM et ses partenaires sur le site expérimental d'Agon-Coutainville](#) en Normandie montrent néanmoins que les eaux usées traitées peuvent offrir une qualité élevée suite à leur infiltration dans une nappe (voir encadré). Elles pourraient ainsi représenter une alternative disponible tout au long de l'année et plus particulièrement en période d'étiage, lorsque les ressources conventionnelles comme les rivières sont fortement sollicitées voire indisponibles.

Quelques dizaines de sites en France

Une fois qu'un site a été identifié sur un territoire en besoin, différentes étapes sont nécessaires avant de disposer d'une production viable. Il faut d'abord lancer une évaluation préliminaire de la faisabilité d'un dispositif de recharge à partir des données hydrologiques existantes et d'outils de modélisation puis, si elle s'avère positive, concevoir la méthode la plus appropriée (voir encadré sur les différents procédés). Enfin, on construit un pilote expérimental qui permettra de valider ou non l'agrandissement du dispositif

à une échelle opérationnelle. Entre 2016 et 2019, les équipes hydrogéologiques du BRGM sont ainsi intervenues dans une phase très amont d'étude pour le compte d'une Agence de l'eau régionale : ils ont cartographié le potentiel d'infiltration de l'eau en sous-sol dans le bassin Rhône-Méditerranée-Corse et identifié les zones propices. Cette vaste analyse a aussi permis d'étudier le rapport coûts-bénéfices le plus complet possible sur 4 zones pilotes. **Pour réorienter de l'eau de surface en surplus vers un aquifère, il faut la transporter, via des pompages ou un canal artificiel.** L'ensemble des coûts associés (énergie, entretien, surveillance, nettoyage des bassins d'infiltration, etc.) a donc été étudié par les équipes de socio-économistes du BRGM. Un coût par mètre cube d'eau infiltré a ainsi pu être déterminé dans ces quatre zones pilotes. Ces données sont disponibles pour les acteurs de l'eau.

Dans un [rapport](#) rendu à l'Unesco en fin d'année 2021 et portant sur l'examen de 28 sites majeurs à travers le monde, l'Association internationale des hydrogéologues (AIH) notait que les coûts associés aux dispositifs de recharge artificielle étaient souvent inférieurs à d'autres alternatives destinées à accroître le volume d'eau exploitable.

La recharge maîtrisée des aquifères est utilisée depuis plusieurs décennies mais elle est généralement peu connue au niveau local. L'Association internationale des hydrogéologues en dénombre quelques milliers à travers le monde. **En France, une cinquantaine de sites de capacité industrielle ont été recensés par le BRGM dont la moitié sont en activité.** Ils sont gérés par des entreprises



Bassin d'infiltration en Autriche, projet AquaNES © (AquaNES)

spécialisées dans la gestion des eaux et concernent essentiellement des filtrats en berge de rivière ou de fleuve pour une utilisation rapide de l'eau infiltrée à destination de captages en eau potable in situ. Il n'existe à ce jour pas de dispositif de stockage à moyen terme destiné à une reprise différée dans le temps.

Au regard des évolutions des ressources et des besoins en eau, de nombreuses demandes se font aujourd'hui, avec de nouveaux projets en Occitanie ou dans les Hauts de France notamment.

ANALYSER LE POTENTIEL D'ÉPURATION DU SOL : LE CAS D'ÉTUDE D'AGON-COUTAINVILLE

Dans le cadre des projets de recherche européens [AquaNES](#) et [EVIBAN](#), les hydrogéologues du BRGM et leurs partenaires ont mené une étude pluriannuelle sur le site expérimental d'Agon-Coutainville en Normandie. Situé en bordure de mer, dans une zone d'infiltration dunaire de plusieurs mètres d'épaisseur, le dispositif ré-infiltre dans la nappe sous-jacente une eau usée traitée par la station d'épuration locale afin d'éviter son rejet direct en mer. Il recharge de fait l'aquifère et empêche son remplacement par de l'eau de mer. Les recherches menées entre 2016 et 2021 ont notamment permis d'évaluer la qualité de l'eau « en sortie ». Parmi les paramètres surveillés par les scientifiques, outre ceux demandés par la réglementation, figuraient le suivi des micropolluants tels que des substances pharmaceutiques ainsi que des mesures physico-chimiques, comme la température et la salinité. **Il a ainsi été constaté une réduction des concentrations en éléments organiques et en contaminants émergents.** De plus, aucun élément-métal n'a été trouvé en quantité potentiellement problématique.



Chaque site de recharge artificiel possède ses propres caractéristiques et nécessite une analyse de la zone non saturée. En effet, les critères pouvant affecter les processus géochimiques et microbiologiques favorisant l'épuration des eaux de recharge (pH, potentiel d'oxydoréduction, concentration de matière organique, minéralogie avec présence ou non d'argile ou d'hydroxyde de fer ou de manganèse, etc.) varient selon la nature du sous-sol.

Etudes menées à Agon-Coutainville © BRGM



DIFFÉRENTES TECHNIQUES POUR RÉINJECTER DES EAUX DANS LE SOUS-SOL

Les installations de recharge artificielle peuvent différer assez nettement selon l'origine de l'eau utilisée (rivière, pluies, eau de station d'épuration) et la conformation des lieux. L'un des plus fréquemment utilisés en France est la concentration de l'eau (via pompage ou canalisation en surface) dans un bassin d'infiltration naturel ou artificiel, cette méthode permettant d'utiliser le sous-sol comme épurateur naturel. D'autres méthodes, assez proches sur le principe, peuvent exploiter une berge d'infiltration directement en contact avec un cours d'eau, ou une filtration de surface via des dunes superposées en escalier. Une autre technique est plus directe : elle consiste à forer dans l'aquifère pour y injecter directement de l'eau. Ce procédé permet notamment de recharger des nappes dites captives (maintenue sous pression par une couche de roches imperméables située entre elles et la surface) et de créer des barrières hydrauliques contre des intrusions d'eau impropres. Ces méthodes d'injection directes sont les plus utilisées à travers le monde.

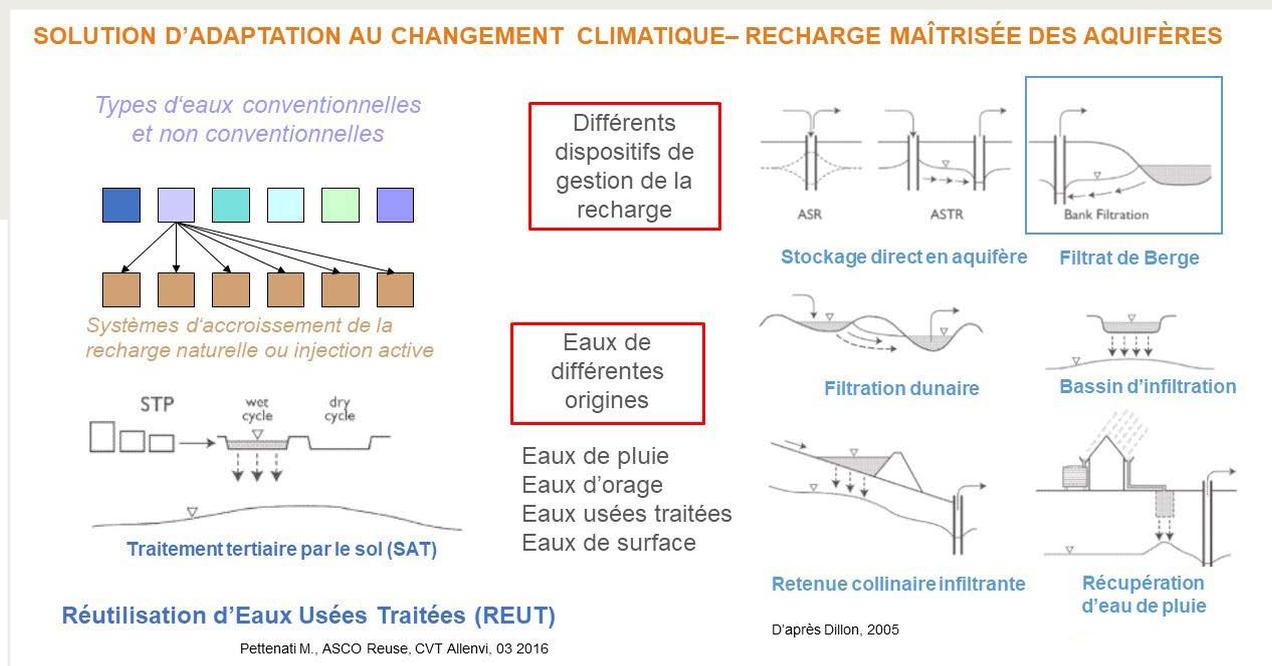


Schéma présentant des procédés de recharge maîtrisée (bassin d'infiltration et injection directe) FR



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Siège - centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin,
BP 36 009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr