

APPORTS DES TECHNOLOGIES EN RÉPONSE AUX BESOINS EN EAU DOUCE EN FRANCE DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Groupe de travail de l'Académie des technologies

Yves Lévi

Membre de l'Académie des technologies et coordinateur du groupe de travail

Séance du 12 avril 2023

Résumé

Le réchauffement climatique a commencé à faire évoluer le cycle de l'eau et celui de ses usages et se traduit notamment par des sécheresses, des inondations par pluies extrêmes, des manques d'eau douce pour satisfaire la demande, des baisses de rendements agricoles. La situation est hétérogène sur le territoire national et selon les saisons. Les dernières années ont été marquées par un déficit dans la recharge hivernale des nappes souterraines, des réductions des débits d'étiage des cours d'eau, des impacts sur la faune et la flore et des conflits d'usage (eau potable, énergie, irrigation, industrie, loisirs...). Une évolution des usages est nécessaire à tous les niveaux (agriculture, industrie, usages urbains...).

En complément des efforts d'économie sur les prélèvements, des technologies sont en mesure d'apporter une contribution significative. Il s'agit de l'utilisation d'eaux usées traitées, du dessalement de l'eau de mer, du stockage d'eau et de la gestion des grands barrages. Les projets et leurs implantations doivent être anticipés, compte tenu des délais de réalisation, et ils doivent s'inscrire dans une stratégie nationale prenant en compte les spécificités locales.

Intervenants

Valérie Masson-Delmotte

Directrice de recherche au CEA, coprésidente du groupe n°1 du GIEC et membre de l'Académie des technologies

Jean-Michel Soubeyroux

Directeur adjoint scientifique de la climatologie chez Météo-France

Dominique Darmendrail

Directrice du programme scientifique « Eaux et Changement Global » au BRGM

Emmanuelle Verger-Chabot

Directrice d'EDF Hydro

Alexandre Duzan

Expert référent du programme « Innovation & Recherche » et chef de file « Ressources en eau » du Groupe Suez

Sommaire

Les travaux du groupe de travail de l'Académie	2
Introduction	2
Évolutions des précipitations et de la ressource en eau en métropole dans le contexte du changement climatique	3
Enjeux et solutions pour la gestion des eaux souterraines	4
Grands barrages et défis de gestion dans le contexte du changement climatique	5
Utilisation des eaux usées traitées en France, dessalement : forces et limites	5
Débats	7

Les travaux du groupe de travail de l'Académie, présentés par Yves Lévi

Le problème de la satisfaction des demandes en eau douce prend une importance croissante dans l'esprit de nos concitoyens. Le groupe de travail constitué au sein de l'Académie, ayant procédé à des auditions, propose un rapport articulé en trois chapitres : les besoins en eau douce et l'état d'évolution des ressources en France, une courte présentation de l'adaptation nécessaire des pratiques agricoles, les technologies en mesure de contribuer à fournir de l'eau douce, dans le cadre d'une stratégie globale indispensable comportant des efforts de sobriété et une meilleure gestion de la ressource. Tout l'enjeu est de bien connaître les prévisions d'évolution de la disponibilité en eaux douces superficielles et souterraines selon les sites et les saisons, de mettre en œuvre des stratégies locales de sobriété en concertation avec les citoyens, et d'utiliser les solutions technologiques lorsqu'elles sont nécessaires en fonction des situations locales. Merci à nos intervenants, qui vont apporter leurs éclairages sur ces différentes questions.



Introduction

Valérie Masson-Delmotte

Valérie Masson-Delmotte est directrice de recherche au CEA, coprésidente du groupe n°1 du GIEC et membre de l'Académie des technologies.

Le sixième rapport d'évaluation du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat) comprend deux chapitres dédiés au cycle de l'eau : Changements physiques à l'échelle planétaire ; Impacts et risques pour l'utilisation des ressources en eau, et options d'adaptation).

Le réchauffement planétaire dû aux activités humaines entraîne une intensification du cycle de l'eau et de sa variabilité (saisons et événements très humides et très secs), et notamment des sécheresses agricoles (par l'augmentation de la demande évaporative d'une atmosphère plus chaude), ainsi que des pluies extrêmes (par la capacité de l'atmosphère à contenir 7% de vapeur d'eau supplémentaire par °C de réchauffement). Dans les régions de climat méditerranéen, cela s'ajoute à une

tendance à la baisse de la pluviométrie due aux changements de circulation atmosphérique planétaire, qui contraste avec une tendance à l'augmentation des précipitations continentales (avec un effet humidifiant des gaz à effet de serre, mais, à l'échelle régionale, un effet asséchant des particules de pollution). Les changements déjà observés et attribués à l'effet des activités humaines sur le climat planétaire (climat moyen, fréquence et intensité des événements extrêmes) vont s'intensifier avec chaque incrément de réchauffement planétaire. Ils affectent déjà, de manière contrastée selon les régions, la disponibilité en eau, la productivité agricole, la santé, les infrastructures et les écosystèmes. Le recul de l'enneigement et des glaciers de montagne contribue également à limiter la disponibilité des ressources en eau douce dans un climat qui se réchauffe.

Dans le monde, 60 % des actions d'adaptation au changement climatique documentées portent sur les risques liés à l'eau, notamment dans le secteur agricole : diversification des sources d'approvisionnement, gestion et stockage de l'eau dans les exploitations agricoles, préservation de l'humidité des sols, renforcement de l'irrigation, amélioration des cultivars, diversifications, agroforesterie, restauration des cours d'eau et des zones humides, systèmes d'alerte précoce, plans de prévention des risques, gestion des forêts et planification de l'usage des terres.

En Europe, quatre risques clés associés au changement climatique ont été identifiés et augmentent avec le niveau de réchauffement planétaire, pour une adaptation basse à moyenne : les sécheresses, qui ont des effets sur la biodiversité et la structure des écosystèmes (en France, la mortalité des arbres a doublé au cours de la dernière décennie, du fait de conditions plus chaudes et sèches) ; les inondations par pluie extrêmes, débordements de cours d'eau et submersion littorales ; les situations de pénurie d'eau qui ont déjà affecté 48 millions de personnes, notamment en Europe du sud entre 1981 et 2010, et ont un impact sur de nombreux secteurs d'activité (agriculture, élevage, énergie, transport fluvial et industrie) ; les pertes de rendement agricoles, aussi bien pour les cultures que pour les animaux d'élevage. Sur le littoral, la disponibilité de l'eau douce va également être affectée par l'augmentation du niveau de la mer et par la fréquence et de l'intensité des événements de niveau marin extrêmes, qui peuvent accroître la salinisation.

L'évaluation des options et trajectoires d'adaptation en Europe de l'ouest montre que les mesures portant sur la demande en eau peuvent réduire les risques de manques pour un niveau de réchauffement planétaire allant jusqu'à environ 2,5°C. Investir dans les infrastructures et technologies avancées peut permettre de gagner du temps mais les réservoirs ont un coût élevé et peuvent présenter des impacts environnementaux négatifs, tandis que l'augmentation de l'irrigation intensifie la dépendance à la ressource en eau. Au-delà de 2,5°C, des transformations profondes seraient nécessaires, telles

que la relocalisation de l'industrie ou la transformation des activités agricoles, et tout l'éventail de mesures destinées à réduire les risques n'éviterait pas des situations de pénurie.

Pour éviter d'atteindre les limites de l'adaptation, de multiplier les pertes et dommages et d'engendrer une escalade des coûts, il est important de changer d'échelle par rapport à une adaptation souvent trop fragmentée et réactive, et de mettre en œuvre des politiques publiques intégrées, notamment dans le secteur transverse de l'eau, en évitant la maladaptation. L'action publique, pour être efficace, doit être juste, inclusive, basée sur le partage des connaissances. L'Académie des technologies a un rôle à jouer dans ce domaine, afin d'éclairer des choix complexes.



Évolutions des précipitations et de la ressource en eau en métropole dans le contexte du changement climatique

Jean-Michel Soubeyroux

Jean-Michel Soubeyroux est directeur adjoint scientifique de la climatologie chez Météo-France.

Les modifications en cours du cycle de l'eau, liées à l'augmentation globale de la température et au contenu en eau de l'atmosphère qu'elle entraîne, ainsi qu'à l'augmentation de la demande évaporative et à l'effet direct du CO₂ sur la transpiration des plantes, vont se traduire par une augmentation des contrastes entre saisons sèches et humides mais également de la variabilité des extrêmes, plus rapide que l'évolution des changements moyens.

En France, le cumul annuel moyen de précipitations tel qu'il est observé depuis 1960 va rester stable, avec une variabilité à la fois décennale et d'une année sur l'autre. En revanche, les précipitations vont s'accroître dans la moitié nord du pays et diminuer dans la moitié sud. La sécheresse des sols a déjà augmenté d'un facteur 2 depuis les années 1960 et d'un facteur 3 dans le sud, par exemple en Occitanie. La fréquence et l'intensité des

événements hydrologiques extrêmes vont s'accroître (+ 10 à 20 %) près de la Méditerranée mais également en Bretagne, dans le Centre, dans le Nord Est.

L'évapotranspiration potentielle (ETP), calculée à partir des seules variables atmosphériques, est en hausse sensible (près de 20 % pour l'ETP depuis 1960), tandis que l'évapotranspiration réelle (ETR), intégrant la végétation et son état hydrique, se stabilise dans la mesure où, une fois que les sols sont secs, l'évaporation des sols et de la végétation est beaucoup plus faible. Les précipitations efficaces (P-ETR) sont en baisse d'environ 10 % depuis 1960.

Pour les évolutions à venir, des simulations sont effectuées à l'aide de modèles de climat globaux et régionaux en réponse à des scénarios contrastés de concentration en gaz à effet de serre (GES). Ces scénarios, définis pour le cinquième rapport du GIEC de 2013 et utilisés dans les simulations régionalisées sur l'Europe et la France (jeu DRIAS-2020) sont les RCP2.6, RCP4.5 et RCP 8.5, dont les noms correspondent au nombre de watts par mètre carré supplémentaires liés à l'augmentation de la concentration de GES. À l'horizon 2050, en France et par rapport à 1976, la hausse des températures ira de 1,5°C dans le scénario RCP4.5 à 2°C dans le scénario RCP 8.5. Elle sera plus marquée en été qu'en hiver, et plus forte (avec un écart allant jusqu'à 1°C) dans le Sud-Est et en montagne que dans le Nord-Ouest. Dans le scénario RCP2.6, les températures se stabiliseront à l'horizon 2050.

L'évolution des précipitations est plus difficile à analyser. Il est prévu, sur la base des simulations régionalisées sur la France, comme le jeu DRIAS 2020, une tendance à la hausse en hiver et à la baisse en été, qui se renforce au fil du réchauffement. À noter que les nouvelles simulations climatiques (CMIP6) montrent une plus grande incertitude sur l'évolution des précipitations d'hiver en France à l'horizon milieu de siècle (notamment en tenant compte de la variabilité interne du climat grâce à de grands ensembles de simulations).

En montagne, la baisse du stock de neige sera de 40 % dans les Alpes et de 60 % dans les Pyrénées. Non seulement les précipitations se produiront sous forme de pluie à des altitudes de plus en plus élevées mais, en raison, de la forme du relief, les surfaces concernées par les chutes de neige seront moins importantes, et enfin la neige fondra de plus en plus tôt au printemps. L'évapotranspiration connaîtra une hausse généralisée sur le pays aussi bien pour RCP4.5 que pour RCP8.5 et se traduira par une augmentation du nombre de jours de sols secs, passant de 10 à 30 jours selon les régions.

De nouvelles simulations hydrologiques laissent prévoir une évolution contrastée des débits des rivières selon les saisons et les bassins versants, avec des tendances à la hausse pour le débit moyen annuel dans la moitié nord de la France et à la baisse pour la moitié sud, et surtout une légère augmentation des débits en hiver et une baisse systématique en été, ce qui se traduira par des problèmes d'étiage dans toutes les régions.



Enjeux et solutions pour la gestion des eaux souterraines

Dominique Darmendrail

Dominique Darmendrail est directrice du programme scientifique « Eaux et Changement Global » au BRGM.

Les eaux douces représentent 2,5 % de l'ensemble de l'eau sur terre. Parmi les eaux douces, 69 % sont stockées dans les glaciers et 30 % sont des eaux souterraines, les eaux de surface (lacs et rivières) ne représentant que 0,4 % du total. En moyenne, entre 1991 et 2020, 508 milliards de mètres cubes de pluie sont tombés chaque année sur notre pays, auxquels s'ajoutent 11 milliards de mètres cubes apportés par les fleuves venant des pays voisins. Les répartitions se font essentiellement par l'évapotranspiration (61 %), l'infiltration dans les nappes souterraines (23 %) et le ruissellement dans les cours d'eau (16 %).

Concernant l'utilisation des eaux, il faut distinguer les ressources théoriques de celles effectivement mobilisables pour divers usages, appelées réserves. Par exemple, la préservation de la vie dans les cours d'eau nécessite d'y maintenir un débit minimum. Inversement, il n'est pas forcément facile de capter et de stocker l'eau issue des crues ou des inondations.

Cette différence s'applique aussi aux eaux souterraines. En fonction du type de roches (graviers, sables, craie, calcaires plus ou moins karstiques, roches volcaniques, granites), certaines nappes se rechargent très rapidement, quand d'autres ont un temps de réponse de plusieurs mois, voire de plusieurs années ou même d'un siècle. L'eau doit non seulement pénétrer en profondeur mais circuler dans l'aquifère, parfois sur des centaines de kilomètres. De plus, l'épaisseur de certains aquifères peut fortement varier, en sorte que les prélèvements opérés dans une nappe peuvent conduire à une déconnexion entre la nappe et les cours d'eau qu'elle alimente, parfois à raison de 80 à 100 % de leur débit en été.

Dans les usages des eaux souterraines, il faut distinguer les prélèvements (après lesquels l'eau retourne vers le milieu naturel) et la consommation avec non-retour au

milieu naturel. Les eaux souterraines représentent 67 % de la consommation d'eau potable, 40 % pour l'eau industrielle et 37 % pour l'eau agricole, avec de fortes variations selon les territoires. Dans le quart nord-est de la France, par exemple, l'alimentation en eau potable dépend parfois à 90 % ou même à 100 % des eaux souterraines.

À l'exception de l'année 2021, les six dernières années ont été marquées par un déficit dans la recharge hivernale des nappes souterraines, particulièrement 2022 et 2023. Actuellement (en avril 2023), 80 % des nappes se situent en-dessous de leur niveau de référence, ce qui va entraîner une baisse des débits d'étiage des cours d'eau et une augmentation de la durée des assècs, l'assèchement de certaines sources et zones humides, des impacts sur la faune et la flore associés à ces milieux ainsi que sur les paysages. La baisse du niveau des nappes peut aussi conduire au dénoyage des pompes utilisées pour les prélèvements dans les forages et provoquer des conflits d'usages entre consommation d'eau potable, énergie, irrigation, industrie, loisirs, mais aussi pour la sécurité civile (lutte contre les incendies). La baisse du niveau des nappes situées près du littoral entraîne également un risque de remontée du biseau salé, c'est-à-dire de la partie des aquifères côtiers envahie par l'eau salée.

La connaissance des aquifères et le recours aux outils de modélisation prédictive permettent d'anticiper à court terme l'évolution des nappes en fonction de la pluviométrie attendue. Ceci permet au BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) de fournir des indications d'évolution aux préfets lorsqu'ils doivent prendre des arrêtés de réduction de la consommation d'eau.

Les eaux souterraines peuvent être altérées par les pollutions, dont la connaissance est limitée, sachant que certains polluants ne sont recherchés que depuis quelques années. De plus, en fonction du type de roche, certaines contaminations mettent très longtemps à atteindre les nappes. C'est ainsi que nous commençons à découvrir, dans les eaux souterraines, des produits chimiques dont l'utilisation est interdite depuis quinze ans.

Face au changement climatique, une mesure d'adaptation disponible est la recharge maîtrisée des aquifères, déjà pratiquée depuis des années avec des volumes significatifs, notamment à Croissy sur Seine (25 millions de mètres cubes par an), Flins (8 Mm³/an), Houle-Moule (7 Mm³/an). À Crépieux-Charmy, l'eau du Rhône est infiltrée à raison de 8 400 m³ par heure, à comparer aux 9 000 m³/h prélevés globalement pour l'alimentation de la ville de Lyon. Les eaux utilisées pour la recharge des nappes peuvent venir non seulement des rivières, mais des eaux de pluie et même des eaux usées traitées, par exemple lorsqu'il s'agit de freiner la progression du biseau salé. Une autre piste consiste à réutiliser la même goutte d'eau plusieurs fois pour différents usages (approche dite Nexus). Ainsi, à Tarragone, en Espagne, l'eau potable, une fois usée, est

traitée avant d'être utilisée dans un complexe pétrochimique.

supplémentaires au-delà. La première tranche sera opérée en reliant des retenues déjà existantes par une galerie, de façon à faire circuler l'eau en boucle. Il est également envisagé de rehausser certains barrages, notamment dans le bassin Adour-Garonne.

L'un des freins à ces projets est juridique : selon les règles européennes, tout développement important du parc d'EDF conduira à la perte de la concession sur le projet concerné. Cette difficulté devra être levée avant de pouvoir réaliser ces travaux.



Grands barrages et défis de gestion dans le contexte du changement climatique

Emmanuelle Verger-Chabot

Emmanuelle Verger-Chabot est directrice d'EDF Hydro.

L'hydroélectricité représente 12 % de la production d'électricité en France, mais 70 % des ouvrages du parc hydroélectrique d'EDF contribuent également à d'autres activités, comme l'irrigation, l'alimentation en eau industrielle, le refroidissement des centrales nucléaires en aval, ou encore le tourisme.

La production d'hydroélectricité a naturellement été impactée par la sécheresse en 2022, avec une réduction de 20 % de l'énergie produite par rapport à une année normale, mais ces conditions climatiques exceptionnelles n'ont pas empêché les ouvrages de remplir leur mission principale, c'est-à-dire apporter de la puissance au moment des pointes de consommation. Lors de la pointe du 24 janvier 2023 à 18 heures, par exemple, l'hydroélectricité a couvert 24 % de la consommation nationale.

L'hydroélectricité permet de lutter contre le changement climatique, non seulement parce qu'elle est décarbonée, mais parce qu'elle permet d'intégrer davantage d'électricité renouvelable non pilotable. C'est aussi un outil de résilience face à l'évolution des précipitations, car les barrages permettent de stocker de l'eau douce et de retarder le moment où celle-ci rejoint les océans et devient salée.

Dans les années à venir, deux effets du réchauffement climatique vont réduire notre capacité de production : l'augmentation de l'évapotranspiration et, de manière moins nette, la diminution des précipitations.

EDF a plusieurs projets de développement de son parc. Le suréquipement de certains ouvrages devrait permettre de passer d'une capacité de 20 à 20,5 GW. Certains ouvrages seront complétés par des stations de transfert d'électricité par pompage, pour une capacité additionnelle de 1,5 GW d'ici 2035, et de 2 GW



Utilisation des eaux usées traitées en France, dessalement : forces et limites

Alexandre Duzan

Alexandre Duzan est expert référent du programme « Innovation & Recherche » et chef de file « Ressources en eau » du Groupe Suez.

Les ressources en eau comprennent les ressources conventionnelles (eaux souterraines, eaux de surface, eau de mer) et les ressources non conventionnelles (eaux pluviales, eaux usées traitées, eau atmosphérique - c'est-à-dire l'eau contenue dans les nuages, à la récupération de laquelle travaillent des chercheurs chinois).

La réutilisation des eaux usées traitées

La REUT (réutilisation des eaux usées traitées) a été pratiquée dès les années 1980 mais, en France métropolitaine, elle ne concerne actuellement que 1 % des eaux usées rejetées par an. Par comparaison, ce taux est de 8 % en Italie, de 14 % en Espagne et de 90 % en Israël. La REUT consiste à valoriser les eaux usées traitées en provenance des stations de traitement et d'épuration des eaux usées (STEU), d'installations privées classées pour la protection de l'environnement, ou encore de dispositifs d'assainissement non collectif des eaux usées. Elle présente un intérêt à condition de se substituer à des prélèvements dans les ressources en eau conventionnelle, plutôt que de servir à des consommations supplémentaires.

Elle permet d'économiser l'eau potable pour des usages ne nécessitant pas un niveau de qualité maximal. Elle met à profit la valeur ajoutée d'une ressource déjà présente dans les tuyaux, délivrée de manière constante, avec un débit connu, d'éventuels composants susceptibles de servir de fertilisants (azote, phosphore), et une température qui peut être valorisée à travers des réseaux de chaleur. Elle permet d'éviter des coûts de restauration des milieux, par exemple de zones sensibles à l'eutrophisation ou encore de zones de baignade ou de conchyliculture, et présente des avantages politiques et sociaux en termes de positionnement des collectivités dans une dynamique d'économie circulaire et de partage de l'eau.

Les usages autorisés pour les eaux usées traitées sont l'irrigation des terres agricoles et des espaces verts, certaines utilisations urbaines (nettoyage de voirie, lavage d'engins, hydrocurage des réseaux...), des utilisations industrielles, et enfin la recharge de nappe (en particulier dans les nappes côtières, pour lutter contre la progression du biseau salé). En est exclue la production directe ou indirecte d'eau potable, même si l'on peut faire observer qu'une partie des cours d'eaux est rechargée par des eaux usées traitées, l'eau en question étant recaptée un peu plus loin pour contribuer à l'alimentation en eau potable...

Certains de ces usages sont régis par la réglementation européenne (notamment l'irrigation agricole), et d'autres par la réglementation française (comme l'arrosage des espaces verts), ce qui est source de complexité, d'autant que ces deux types de réglementation établissent des classes de qualité (de A à D) qui ne coïncident pas entre elles, la réglementation européenne étant beaucoup plus exigeante. Tous les dispositifs de REUT déjà mis en œuvre en France devront s'aligner sur la réglementation européenne d'ici juin 2023.

La plupart des STEU procèdent à un traitement primaire (dégrillage, dessablage, dégraissage, décantation primaire) et secondaire (bassin d'aération, décantation secondaire), avant de rejeter les eaux épurées dans le milieu naturel, où elles représentent souvent une partie importante du débit d'étiage des cours d'eau, ce qui constitue une limite à leur mobilisation pour d'autres usages. Les projets de REUT destinés à l'irrigation nécessitent un traitement complémentaire, dit "tertiaire", reposant sur l'utilisation de membranes pour procéder à de la microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration. Pour les usages les plus exigeants, il est possible d'ajouter un traitement quaternaire, avec par exemple de l'osmose inverse, voir une désinfection à base de rayonnements ultraviolets et de chlore ou d'ozone. Plus la filtration est fine, plus la qualité de l'eau est élevée, mais plus la dépense d'énergie est importante.

Une même STEU peut produire de l'eau usée traitée à différents niveaux de qualité pour différents usages. Avec un traitement primaire et secondaire puis une désinfection, les eaux traitées peuvent servir aux

cultures non alimentaires et à l'irrigation d'espaces verts non ouverts au public. En y ajoutant un traitement tertiaire de type filtrage non membranaire, elles peuvent être utilisées pour des cultures alimentaires sans contact avec les fruits et légumes (par exemple, un arrosage en goutte à goutte au pied de plants de tomates), alors qu'avec une filtration membranaire, elles pourront être utilisées pour des cultures alimentaires y compris avec arrosage des fruits et légumes eux-mêmes.

Pour monter un projet de REUT il faut tout d'abord mener une étude d'opportunité afin d'identifier les utilisateurs potentiels, puis une étude de faisabilité pour définir les travaux à réaliser et leur coût. Un dossier de demande d'autorisation est ensuite déposé auprès des services de l'État. Une fois l'autorisation obtenue et les travaux réalisés, le dispositif est mis en observation pendant six mois afin de vérifier que la qualité de l'eau est conforme à ce qui était annoncé dans le dossier. Au total, la mise en place d'un projet de REUT prend deux ans.

À la suite des Assises de l'Eau en 2020, le gouvernement s'est fixé l'objectif de multiplier par trois les volumes d'eaux non conventionnelles utilisés d'ici 2025. Selon les régions, les projets peuvent être subventionnés jusqu'à 60 % par les Agences de l'eau. Voici quelques exemples de projets déjà réalisés : à La Source, près d'Orléans, les eaux usées traitées permettent d'arroser le Parc Floral et, à Agde, le golf. À Versailles, elles sont utilisées pour l'arrosage d'espaces verts mais également pour de l'irrigation agricole.

Le dessalement d'eau de mer

Les quatre grandes étapes du dessalement d'eau de mer sont la prise d'eau par puits côtier ou par prélèvement en mer, le prétraitement (clarification, filtration par filtres sous pression, filtration par filtres à cartouches), le traitement par procédé thermique ou, le plus souvent, par osmose inverse (pour deux tiers de la production mondiale et 100 % des nouveaux projets), et enfin le post traitement pour reminéraliser l'eau.

Entre les années 1970 et les années 2020, la consommation d'énergie nécessaire pour traiter un mètre cube d'eau par dessalement est passée de 10 kWh à 3 kWh. Cela reste quatre fois plus que pour une station de traitement d'eau douce recourant à l'osmose inverse, dont la consommation est de 0,7 ou 0,8 kWh. Le recours à l'électrodialyse et à des systèmes de récupération d'énergie permet toutefois de réduire la consommation d'électricité de l'osmose inverse. De plus, certaines usines se dotent de panneaux solaires et d'éoliennes afin de produire de l'énergie renouvelable. Enfin, les membranes sont de plus en plus compactes et performantes.

Des améliorations sont également apportées à la conception de la prise d'eau, pour la rendre plus respectueuse du biotope, et aux rejets en mer, dont

l'impact est réduit grâce à des diffuseurs, en sachant que seules les saumures sont rejetées, les produits chimiques utilisés pour le traitement étant recyclés au sein des usines. Enfin, des filières se mettent en place pour concentrer les saumures et permettre l'extraction de minéraux tels que le magnésium ou le lithium, et produire des acides/bases.

Même si la technologie du dessalement est devenue beaucoup plus attractive depuis une quinzaine d'années, elle reste encore chère, notamment par rapport à la REUT, et limitée aux zones côtières, alors que la REUT peut être mise en œuvre partout.



La désimperméabilisation des sols

Existe-t-il une stratégie nationale de désimperméabilisation des sols pour favoriser la recharge des nappes ?

Dominique Darmendrail : Le fait d'avoir imperméabilisé les sols urbains, construit des routes et asséché les sols agricoles contribue effectivement à rendre plus difficile la recharge des nappes. J'aurais aimé trouver le terme *désimperméabilisation* dans le Plan Eau présenté par le président de la République en mars 2023, mais tel n'a pas été le cas et cela fait partie des points que nous avons fait remonter au ministère. Il faudra conjuguer la recharge maîtrisée et la recharge naturelle facilitée par la désimperméabilisation pour arriver à faire face aux besoins en eaux souterraines.

La création de réservoirs

Depuis un siècle, on a créé de nombreux barrages et réservoirs en France mais, désormais, c'est un sujet qui n'est pas politiquement correct.

Dominique Darmendrail : Tous les territoires ne s'y prêtent pas (il est difficile de creuser des réservoirs dans le granit breton, par exemple) et encore faut-il que les réservoirs se remplissent en hiver. Dans le bassin Loire Bretagne, par exemple, les deux barrages sont respectivement à 40 et 48 % de remplissage à la fin de l'hiver.

Échanges entre participants :

La ville de San Francisco dispose de deux ans de réserves d'eau en réservoirs et, en Espagne, la norme est de deux

à trois ans, soit une capacité cinq fois supérieure à celle de notre pays. Il en va de même en Afrique du nord. Tous ces réservoirs ne sont pas remplis tous les ans mais, lorsque c'est le cas, c'est très utile.

L'Espagne a défini un plan hydrologique très volontariste il y a déjà vingt ans, ce qui avait provoqué autant de manifestations que la récente réforme des retraites en France...

L'utilisation de l'eau des barrages

Comment se fait l'arbitrage entre le fait de conserver l'eau des barrages pour couvrir les pointes de consommation hivernales, et le fait de l'utiliser pour l'irrigation en été ?

Emmanuelle Verger-Chabot : En cas de baisse des stocks d'eau, nous ne perdons pas en termes de puissance pour couvrir la pointe, mais plutôt de disponibilité et de nombre d'heures de production.

Ce sont les préfets qui effectuent les arbitrages entre les producteurs d'électricité et les agriculteurs, mais également les acteurs du tourisme, qui préfèrent que le niveau des lacs reste assez élevé, ou encore ceux du tourisme d'eau vive, qui souhaitent que leurs clients puissent se baigner dans les rivières. Nous avons pour règle de toujours donner un signal de prix correspondant à l'éventuelle désoptimisation de la production électrique afin d'éclairer la décision, même si nous ne facturons pas l'eau au prix en question.

Dans certaines régions, comme celle de la Durance, les agriculteurs ont participé au financement des ouvrages, ce qui leur donne un droit de tirage sur l'eau. Désormais, nous envisageons d'ouvrir le financement de travaux de rehausse de barrage aux agriculteurs mais aussi à d'autres utilisateurs.

Le développement de la climatisation pourrait-il conduire à ce que la pointe de consommation intervienne en été plutôt qu'en hiver ?

Emmanuelle Verger-Chabot : Nous en sommes loin, car un degré de moins en hiver se traduit par une consommation supplémentaire de 2 GW, alors qu'un degré de plus en été ne nécessite qu'un demi-GW de plus. En revanche, notre capacité de production est plus souvent appelée qu'avant pendant l'été, en raison de la place croissante des énergies intermittentes, notamment l'éolien et le solaire. La création de nouvelles STEP permettrait de réduire le recours aux batteries, mais encore faut-il que nous ayons de la visibilité sur la rentabilité de nos investissements, car il faut environ 20 ans pour obtenir un taux de retour sur investissement satisfaisant pour une STEP, contre 10 ans pour une usine de batteries.

Développer la REUT, un but en soi ?

Le taux de réutilisation des eaux usées est de 90 % en Israël, et l'on comprend que c'est lié à la nature du climat. Quels sont les freins à lever pour améliorer le taux de 1 % en France ?

Alexandre Duzan : Il est important d'être prêt, sur le plan technologique, à développer la REUT, mais celle-ci ne doit pas être un but en soi. En Australie, certaines stations de dessalement sont mises au repos en attendant le jour où, éventuellement, les eaux de surface et les eaux souterraines ne suffiraient plus. Nous devons collectivement fournir des efforts de sobriété avant d'envisager de recourir largement aux technologies de REUT ou de dessalement. En France, il n'y a, pour le moment, que 500 ou 600 petites communes confrontées à des pénuries d'eau, souvent parce qu'elles sont situées en altitude, et ce ne sont de toute façon pas ces communes qui vont investir des millions d'euros dans des usines de valorisation des eaux usées.

Échanges entre participants :

Nos agriculteurs ne sont pas prêts non plus à payer le coût de l'eau issue de la REUT ou du dessalement pour irriguer leurs champs de maïs. En Israël, l'eau en question sert à arroser des tomates ou à produire de la viande, ce qui est plus rentable. Par ailleurs, Israël a adopté cette gestion de l'eau en raison d'une politique d'indépendance vis-à-vis des pays voisins. De même, à Singapour, de grands investissements ont été réalisés dans le domaine de la REUT et du dessalement dans l'hypothèse où la Malaisie refuserait de continuer à vendre son eau à Singapour. La situation n'est pas la même dans notre pays, qui bénéficie, en moyenne, d'environ 30 mètres cubes d'eau par jour et par habitant...

Compte tenu des délais que demandent les investissements dont nous parlons, il faudrait malgré

tout commencer à réfléchir à ce que pourrait être la gestion de l'eau potable dans notre pays d'ici 15 ou 25 ans, alors que les SDAGE (schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux) ont généralement un horizon de 3 à 5 ans...

REUT et eau potable

Il me semble hypocrite de prétendre que la REUT ne peut pas servir à la production d'eau potable lorsqu'on sait que des stations d'épuration déversent leurs eaux usées traitées dans des rivières qui ont un débit insignifiant avec, quelques kilomètres en aval, des pompes destinés à produire de l'eau potable... Il vaudrait mieux lever ce tabou et reconnaître que l'eau usée traitée peut effectivement devenir de l'eau potable.

On ne peut pomper de l'eau dans une rivière pour en faire de l'eau potable que lorsque cette eau brute répond à des normes de qualité qui ont été établies depuis plus de vingt ans. En particulier, les éventuels rejets en amont doivent être suffisamment dilués pour que le pompage soit autorisé.

Yves Lévi : Les destinataires en principe prioritaires de la REUT, à savoir les agriculteurs, ne sont pas forcément intéressés. Les représentants d'un grand syndicat agricole français m'ont expliqué que si les champs étaient irrigués avec des eaux usées traitées et que les consommateurs l'apprenaient, ils ne souhaiteraient plus acheter les produits en question. La Tunisie utilise les eaux usées traitées pour arroser les fruits et légumes depuis les années 1960. Des études épidémiologiques ont révélé l'existence d'impacts des produits irrigués sur la santé des consommateurs lorsque la qualité de ces eaux est faible. Nous devons mobiliser les sciences humaines et sociales pour favoriser le dialogue et l'appropriation de ces sujets.

Mots clés : cycle de l'eau, dessalement, eau douce, hydroélectricité, irrigation, nappes souterraines, précipitations, réchauffement climatique, réutilisation des eaux usées, sécheresse

Citation : Yves Lévi, Valérie Masson-Delmotte, Jean-Michel Soubeyroux, Dominique Darmendrail, Emmanuelle Verger-Chabot & Alexandre Duzan. (2023). *Apports des technologies en réponse aux besoins en eau douce en France dans le contexte du changement climatique*. Les séances thématiques de l'Académie des technologies. @

Retrouvez les autres parutions des séances thématiques de l'Académie des technologies sur notre site

Académie des technologies. Le Ponant, 19 rue Leblanc, 75015 Paris. 01 53 85 44 44. academie-technologies.fr

Production du comité des travaux. Directeur de la publication : Denis Ranque. Rédacteur en chef de la série : Hélène Louvel. Auteur : Élisabeth Bourguinat. N°ISSN : 2826-6196.

Les propos retranscrits ici ne constituent pas une position de l'Académie des technologies et ils ne relèvent pas, à sa connaissance, de liens d'intérêts. Chaque intervenant a validé la transcription de sa contribution, les autres participants (questions posées) ne sont pas cités nominativement pour favoriser la liberté des échanges.