

ARTICLE DE RECHERCHE / RESEARCH ARTICLE

Impact de l'activité anthropique et des règles de gestion des eaux souterraines sur la ressource – exemple de l'Albien en Île-de-France

Timothée Dupaigne¹ et Sophie Violette^{2,3,*}

¹ Bureau de Recherche Géologique et Minière, 39^{ème} quand André Citroën, 75015 Paris, France

² Sorbonne Université, UFR.918, 4 Place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

³ École Normale Supérieure-PSL Université & CNRS, UMR.8538 Laboratoire de Géologie, 24 rue Lhomond, 75231 Paris cedex 05, France

Reçu le 13 décembre 2019 / Accepté le 3 janvier 2020

Résumé – L'aquifère multicouche de l'Albien du bassin de Paris est exploité depuis 1841. Son exploitation est intimement liée au développement des techniques de forage au cours de l'ère industrielle. En Île-de-France, sa surexploitation devient rapidement un problème lorsque l'artésianisme disparaît et que les niveaux piézométriques ne cessent de baisser, jusqu'à atteindre son niveau le plus bas en 1965. Elle conduit à la mise en place de règles de gestion visant à limiter les débits annuels prélevés, puis les débits maximums de pompage. L'apparition des redevances avec les agences de bassin permet de mieux maîtriser les débits et de construire une stratégie de gestion en s'appuyant sur la communauté scientifique. En juin 2018, la réalisation d'une piézométrie synchrone de l'Albien à l'échelle du bassin de Paris permet de quantifier les effets des différentes mesures de gestion sur la piézométrie, la dernière réalisée étant celle de Raoult sur des données de 1995. Il apparaît que l'aquifère a réagi positivement à chacune des mesures prises depuis 1935, avec une inertie qu'il est difficile de quantifier car elle dépend également de la sollicitation des aquifères sus- et sous-jacents par drainance. Un suivi régulier des aquifères stratégiques est indispensable pour accompagner les règles de gestion.

Mots clés : Albien aquifère / gestion des eaux / nappe captive

Abstract – **Impact of human activities and water management regulations on the resource – example of Albian deep aquifer in Île-de-France district.** The multilayer aquifer of Albian in Paris basin is exploited since 1841. Its exploitation is closely linked to the development of drilling methods during the industrial era. In Île-de-France (Paris district), the overexploitation became quickly a problem as artesianism disappeared and piezometric level dropped down, until 1965. It leads to the settlement of water management regulations aiming to limit the annual withdrawals, and the maximum flow rates. The creation of fees with the Agencies de bassin (basin agencies) allows to better control the flow rates and build a management strategy with the support of the scientific community. In June 2018, the realization of a synchronous piezometry of the Albian aquifer at basin scale allows to quantify the effects of management measures on the water level, the last piezometry being the one carried by Raoult in 1995. It appears that the aquifer reacted positively to each management measure implemented since 1935, with a time shift which is difficult to assess because it also depends on the solicitation of below and above aquifers by leakage. A regular follow up of strategic aquifers is necessary to accompany the management of the resource.

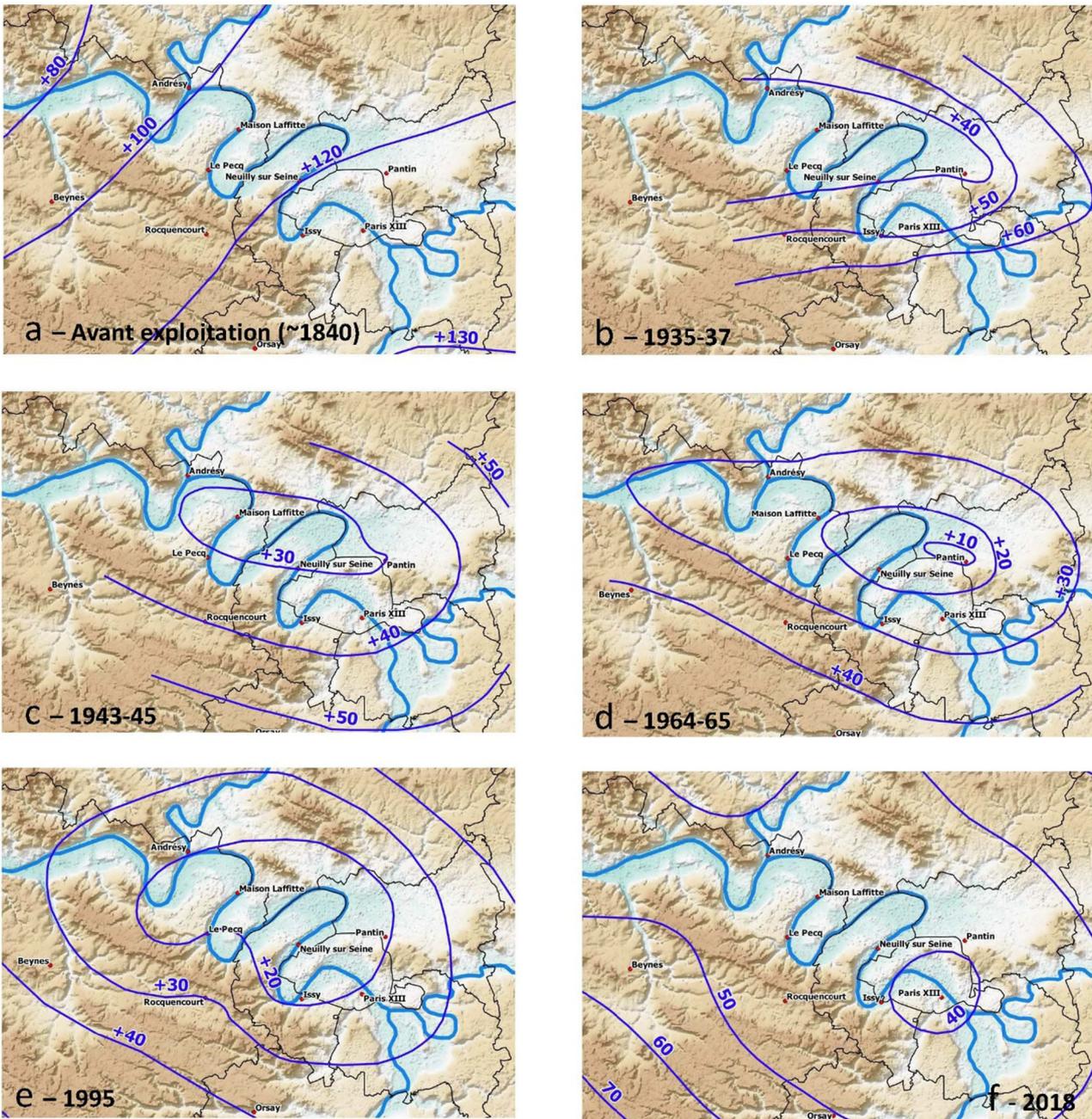
Keywords : Albian aquifer / groundwater resource management / confined aquifer

1 Introduction

C'est en février 1841 que le premier forage foré dans l'enceinte des abattoirs de Grenelle à Paris atteint l'aquifère de

l'Albien à une profondeur de 547 m. L'eau jaillit, inonde le chantier et les ouvriers, à un débit de 141 m³/h, ce qui représente une charge hydraulique équivalente à la cote +128 m NGF (Lemoine *et al.*, 1939) (Fig. 1a et 2). Un demi-siècle plus tard (1910), le caractère artésien de ce forage à l'Albien a disparu. Au fil des ans, les autres forages forés entre

*Correspondance : sophie.violette@ens.fr



Q4 Fig. 1. Évolution de la piézométrie de l'Albien. Piézométrie de la nappe de l'Albien (cote en m NGF). a et e d'après Raoult, 1999 ; b, c et d d'après Lauerjat, 1989 ; f d'après Dupaigne et al., 2019. Fond : données IGN (MNT25, cours d'eau et départements).

temps à Paris et sa proche banlieue subiront le même sort. L'aquifère de l'Albien atteindra son niveau le plus bas en 1964–1965 avec une cote minimale de +10 m NGF mesurée à Pantin (Lauerjat, 1967) (Fig. 1d et 2), pour remonter progressivement depuis lors, atteignant en 2018 la cote de +40 m NGF (Fig. 1f et 2). Cette remontée d'ampleur régionale est confirmée grâce à une récente campagne piézométrique synchrone conduite en juin 2018, presque un quart de siècle (23 ans) après la dernière campagne d'ampleur similaire (Raoult, 1995).

Que s'est-il passé ? Quelles sont les connaissances scientifiques acquises sur cet aquifère ? Quelles mesures de protection de la ressource ont été prises ? Quel est l'avenir de cette ressource ?

L'aquifère de l'Albien, de par la connaissance scientifique accumulée au cours des ans sur près de deux siècles, sa réactivité aux pressions anthropiques et les actions conduites par les pouvoirs publics pour préserver cette ressource, constitue un cas exemplaire de gestion soutenable de la ressource en eau d'un aquifère profond.

2 Synthèse hydrogéologique

L'Albien, est une formation dénommée ainsi pour la première fois par d'Orbigny (1843) afin d'homogénéiser des faciès variés reconnus en différents affleurements du bassin de

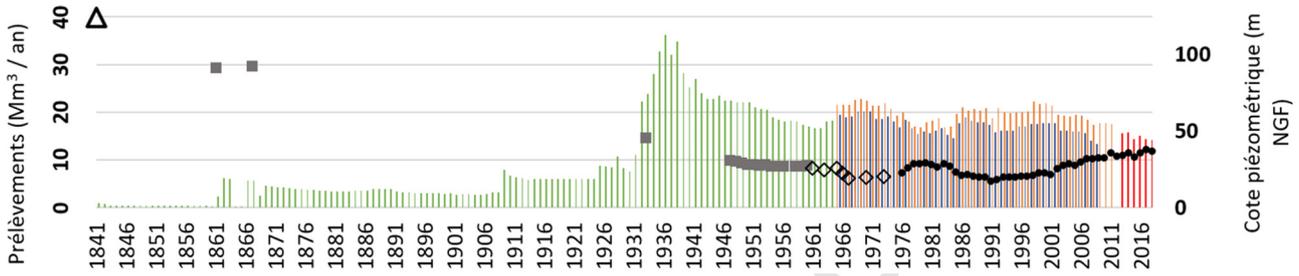


Fig. 2. Historique des prélèvements à l'Albien et chronique piézométrique. Vert : données de [Lauverjat \(1967\)](#) issues des archives des exploitants (estimation à 10 % d'incertitude). Bleu : données de [Raoult \(1999\)](#) et [Contoux et al. \(2013\)](#) réinterprétées d'après [Lauverjat \(1967, 1967\)](#), pour l'Île de France. Orange : données de [Seguin et al. \(2015\)](#) pour l'ensemble du bassin de Paris, d'après [Lauverjat \(1967\)](#) et [Raoult \(1999\)](#), complétées avec les données des redevances (sources : Agence de bassin et Direction Régionale). Rouge : données recueillies pour les besoins de l'article (sources : Direction Régionale et Agence de l'Eau). Triangle : puits de Grenelle (d'après [Lemoine et al., 1939](#)). Carrés pleins : Passy (Paris XV). Losanges vides : ORTF (Paris XVI). Ronds pleins : Forage Say (Paris XIII).



Paris. L'Albien affleure en demi-anneaux à l'Est et au Sud du bassin, à travers les boutonnières de Boulogne et de Bray, dans la vallée de l'estuaire de la Seine et à certains endroits sporadiques le long de sa limite ouest. Grâce aux nombreux forages qui l'ont atteint (au XIX^e et XX^e siècles) ou traversé (prospection pétrolière du bassin de Paris au cours du milieu XX^e siècle), l'Albien profond est également relativement bien connu et a fait l'objet de plusieurs synthèses ([Lemoine et al., 1939](#); [Lauverjat, 1967](#); [Vernoux et al., 1997](#); [Raoult, 1999](#)).

L'aquifère multicouche de l'Albien est composé d'une alternance de couches de sable et d'argile d'extension variable et discontinues, tout en pouvant localement être reliées entre elles verticalement selon l'endroit considéré. Les couches de sable sont communément regroupées en trois niveaux : les Sables verts de l'Albien inférieur, les Sables des Drillons et les Sables de Frécambault de l'Albien moyen. Elles sont entremêlées avec les couches d'argile : Argiles de l'Armanche de l'Albien inférieur et les Argiles Tégulines de l'Albien moyen. Elles reposent en discordance sur les argiles de l'Aptien, les argiles du Barrémien, les sables continentaux et marins du Wealdien (Néocomien), les calcaires du Portlandien ou Kimméridgien selon la région considérée. Les formations de l'Albien sont recouvertes au sommet par des formations argileuses et marneuses des Argiles du Gault et des Marnes de Brienne de l'Albien moyen et supérieur, respectivement. L'épaisseur totale des dépôts varie spatialement. Elle atteint 170 m à Coulommiers, 110 m à Paris, moins de 20 m au Nord-Ouest près de l'embouchure de la Seine et de l'anticlinal de Bray. Déposé au Crétacé inférieur en transgression sur les formations antérieures légèrement plissées en forme de gouttière d'orientation nord-ouest/sud-est et érodées, les sables de l'Albien sont prédominants dans l'axe de cette gouttière. La proportion d'argiles la plus importante se situe au Sud-Est, puis au cours de l'Albien une rotation du domaine argileux vers l'Est et le Nord-Est s'opère. Ainsi c'est sur un axe central sud-nord que s'accumule depuis la bordure sud la plus forte épaisseur cumulée de sable, alors que latéralement en s'éloignant de cet axe, la proportion d'argile croît. Il en résulte une distribution spatiale des propriétés hydrodynamiques hétérogène. La transmissivité obtenue à partir d'essais de pompage de longue durée réalisés sur une quarantaine d'ouvrages est comprises entre $8,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Orsay) et $3,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mathaux). Le coefficient d'emmagasinement déterminé sur un nombre réduit d'essais (8) est compris entre 4×10^{-3} (Saint-Marcel) et

1×10^{-5} (Luneville au pont). Ces valeurs sont des ordres de grandeurs, représentatives des forages et conditions locales y afférant. De plus, selon l'équipement de l'ouvrage considéré, ces valeurs sont représentatives d'un ou de plusieurs niveaux de sables. De ce fait, il est impossible de distinguer le comportement hydrodynamique de chaque niveau de sable ([Lauverjat, 1967](#)).

L'aquifère multicouche de l'Albien est libre là où il affleure et devient captif lorsqu'il est recouvert par les argiles. Avant la mise en exploitation de l'Albien, l'écoulement souterrain se fait globalement du Sud-Est vers le Nord-Ouest, c'est-à-dire des affleurements vers la mer de Manche. Son gradient hydraulique est trois fois plus faible en amont de Paris (0,0003 ‰) qu'à l'aval de Paris (0,0009 ‰) en raison de la remontée et de l'amincissement des couches vers la mer de Manche après Paris. De plus, la présence de petits anticlinaux et de failles verticales dans l'axe de la vallée de la Seine conduit à faciliter la drainance verticale ascendante sous les alluvions de la Seine où les isopièzes s'incurvent.

La connaissance du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère de l'Albien s'est accrue successivement par les synthèses géologiques et hydrogéologiques ci-dessus mentionnées, et notamment la modélisation hydrogéologique contrainte par les traceurs géochimiques, isotopiques incluant les gaz rares conduite par [Raoult \(1999\)](#). De cette étude, il ressort que l'aquifère captif de l'Albien se recharge principalement sur sa bordure sud et au niveau de la boutonnière de Bray à des valeurs comprises entre 30 et 100 mm/an. Elle est donc très faible et ne représente que $27,6 \text{ Mm}^3/\text{an}$. Une zone d'écoulement préférentiel au sein de l'Albien apparaît depuis la bordure sud vers Paris. Le long de cette ligne d'écoulement le signal isotopique et de paléo-température déduit des gaz rares des paléo-recharges est préservé. Notamment le proxy du Dernier Maximum Glaciaire (DMG) se caractérise par une diminution du $\delta^{18}\text{O}$ (minimum $-8,7\%$) ([Raoult et al., 1998](#)) et un abaissement de près de 12°C de la température moyenne de recharge ([Raoult, 1999](#); [Dewonck, 2000](#)). Sur cette même ligne d'écoulement, la comparaison des vitesses de l'eau dans les pores de la roche déduites, d'une part, de la loi de Darcy en tenant compte de la porosité cinématique ($\omega c = 0,15\%$) et du gradient hydraulique anté-1930, et, d'autre part, de l'âge des eaux obtenu grâce à la mesure de l'Activité en ^{14}C , est respectivement de $3,1 \text{ m/an}$ et $3,9 \text{ m/an}$ ([Raoult et al., 1998](#)). En région parisienne en 1995, la signature géochimique des eaux issues de l'Albien fondée sur les concentrations des

éléments Na, Mg, F et Sr résulte d'un mélange dont les pôles sont l'Albien sud-est (64 %), le Néocomien (24 %), l'Albien est (11 %) et l'Albien sud-ouest (< 4 %) (Raoult *et al.*, 1997). L'Albien est donc alimenté par drainance au droit de la région parisienne. Cette alimentation s'est accrue au cours du temps en raison de l'abaissement du niveau piézométrique observé. Elle est passée de 7,95 Mm³/an en régime naturel (anté 1841) à plus de 9 Mm³/an sous forçage anthropique en 1995 (Raoult, 1999). Il en a résulté un abaissement du niveau piézométrique observé dans les aquifères sous-jacents : pour le Néocomien l'abaissement estimé serait de 50 m (Raoult, 1999) et pour le Dogger l'abaissement estimé serait de 6 m (Dentzer, 2016), mais également des niveaux piézométriques simulés de l'ensemble de la pile sédimentaire, montrant ainsi l'impact différé et amorti selon la profondeur de l'aquifère considéré (Contoux *et al.*, 2013). À l'Est, les eaux de l'Albien circulent très faiblement en raison de la proportion croissante en argile. Elles présentent au droit des évaporites du Trias une eau fortement minéralisée (NaCl) soulignant les flux d'eau ascendants par drainance (Raoult, 1999). En dehors de cette zone, l'eau de l'Albien captif présente une eau de première qualité (Lauverjat, 1967). Elle est peu minéralisée et exempte de contaminations bactériologiques (Berger, 1978). Un tiers des eaux alimentant l'Albien captif s'écoule en mer de Manche et les deux tiers restants alimentent par drainance l'aquifère de la Craie sus-jacent (Raoult, 1999 ; Contoux *et al.*, 2013).

Le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère de l'Albien et des formations sus- et sous-jacentes venant d'être exposé, il est à présent nécessaire d'étudier l'impact des activités anthropiques sur la dynamique de cette ressource.

3 Impact des activités anthropiques sur la ressource

Au cours des deux derniers siècles, l'activité anthropique à l'Albien se caractérise par des prélèvements de la ressource par artésianisme ou par pompage. L'estimation de ces débits de pompage au cours du temps n'est pas aisée. Lauverjat (1967) indique que la reconstitution des débits prélevés jusqu'en 1966 résulte de la compilation des données archivées par différents organismes (débits journaliers : annuaire statistique de la ville de Paris depuis 1880 et la société des eaux de Versailles ; Débits annuels : les autres compagnies des eaux). Cependant, des incertitudes demeurent pour l'évolution des débits des forages artésiens entre deux points de mesures, ou pour les forages captifs lorsque seul le débit de la pompe est connu, sans indication de la durée de pompage journalier. Depuis 1966, les données de débits pompés par un exploitant, sont des données déclaratives annuelles qui doivent être transmises à l'Agence de bassin. Des incohérences demeurent du fait de certains biais : ouvrages déclarés à tort comme captant l'Albien, exploitant prélevant dans plusieurs aquifères mais ne déclarant qu'un débit total pour l'ensemble de ses prélèvements, compteurs défectueux, fraudes, etc. (Fig. 2).

La nappe de l'Albien est utilisée depuis toujours dans les zones d'affleurement, où les sources et puits peu profonds sont nombreux. Les volumes prélevés ne sont pas quantifiables mais sont probablement peu importants. Ils se traduisent par un déficit de la recharge en direction de la partie captive.

Le premier puits profond qui atteignit l'Albien fut celui de Grenelle (Paris), démarré en 1833 et achevé en 1841. Il s'inscrivait dans une volonté de l'état de développer les techniques industrielles, notamment celles du forage. Le second fut celui de Passy, démarré en 1855 et terminé en 1861. Ce forage marque l'arrivée de la mécanisation. Les contraintes techniques et logistiques étaient nombreuses, et le nombre de forages réalisés entre 1833 et 1930 ne fut que de 10. Ils étaient réalisés à des fins d'alimentation en eau industrielle principalement. En Normandie quelques ouvrages furent forés pour l'eau potable.

Les volumes prélevés furent de l'ordre de 5 millions de m³ jusqu'en 1908, puis restent inférieurs à 10 millions de m³ jusqu'en 1928. Bien que les ouvrages étaient peu nombreux, chaque nouveau forage artésien avait un impact bien visible sur le niveau piézométrique de la nappe. En effet, les forages historiques, initialement artésiens, cessèrent progressivement de jaillir, notamment celui de Grenelle en 1910 et celui de Passy vers 1930.

La multiplication du nombre de forages à l'Albien fut facilitée par l'apparition du système Rotary et l'utilisation de boues lourdes permettant la stabilisation des parois des ouvrages, à partir de 1927.

Ainsi, si en 1928, il n'y avait que 10 forages actifs, en 1935 il y en avait 28. Le volume prélevé en 1935 a été calculé à 35 millions de m³ par Lauverjat (1967).

La piézométrie de 1935-1937 a été réalisée par Lauverjat (1989) (Fig. 1b). La multiplication des forages s'est traduite par une baisse importante des niveaux piézométriques, qui n'atteint plus que la cote +50 m NGF sous Paris, et le creusement d'un sillon dépressionnaire d'orientation est-ouest au droit des boucles de la Seine.

Entre 1935 et 1945, le nombre d'ouvrages est stable (31 ouvrages), et les prélèvements tendent à baisser, atteignant 23,5 millions de m³ en 1945, d'après Lauverjat (1967). Entre 1940 et 1945, de nombreux ouvrages sont à l'arrêt en raison de la 2^{de} guerre mondiale. L'industrie française tourne au ralenti. Toutefois, la piézométrie de 1945-1947, également réalisée par Lauverjat (1989), indique que la pression sur la ressource est forte. Un cône piézométrique centré au Nord-Ouest de Paris se forme, avec une cote minimale inférieure à +30 m NGF (Fig. 1c).

Entre 1945 et 1965, les prélèvements progressent peu (21,5 millions de m³ en 1965) ainsi que le nombre de forages (32 forages actifs en 1965). Cependant, la dépression piézométrique se creuse et atteindra son minimum autour de 1965, avec une cote de +10 m NGF au droit de Pantin (Fig. 1d). Cette tendance piézométrique souligne le déséquilibre entre la recharge de l'Albien et les prélèvements exercés, ainsi que la concentration des ouvrages autour de Paris.

En 1995, 62 ouvrages prélèvent un total de 19,9 millions de m³ les débits pompés ayant légèrement baissé autour de 1980, une remontée très relative du niveau piézométrique avec un minimum à +20 m NGF centré au Nord-Ouest de Paris est observée (Fig. 1e).

Entre 1995 et 2017, les mesures de gestion mises en place se traduisent par une baisse très significative des prélèvements, avec un débit prélevé de 14,2 millions de m³ en 2017 (données de l'Agence de l'eau Seine Normandie). Il en résulte une remontée du niveau piézométrique de 20 m au droit de Paris, le cône résiduel étant centré sur la capitale à une cote de +40 m NGF (Fig. 1f).

4 Historique des règles de gestion

Depuis la mise en service du forage de Grenelle (1841), la baisse rapide et continue du niveau piézométrique de la nappe de l'Albien a conduit les autorités à mettre en place une série de mesures ayant pour but d'endiguer le phénomène, et de permettre une exploitation plus cohérente avec la capacité de renouvellement de la nappe.

Le décret-loi du 08 août 1935 impose l'obtention d'une autorisation pour tout forage d'une profondeur supérieure à 80 m. Cette mesure vise à limiter la prolifération des forages profonds, qui résulte entre autres de l'invention du système de foration Rotary qui remplace le battage. Elle est aussi la conséquence de l'observation de la baisse des niveaux piézométriques qui impacte la production et fait craindre le tarissement de la nappe.

Le décret du 04 mai 1937 complète le décret de 1935 en détaillant le contenu du rapport d'autorisation. L'effet de ces deux mesures est un ralentissement très franc du nombre de forages réalisés (27 ouvrages réalisés entre 1930 et 1935, contre 8 entre 1936 et 1971), et une stabilisation des prélèvements.

La loi du 16 décembre 1964 pose les fondements d'une gestion des ressources en eau à l'échelle nationale, y compris les eaux souterraines. Elle institue la notion de bassin hydrographique créée les premières agences de bassin et met en place les redevances. C'est aussi dans le cadre de cette loi que sont définies les zones spéciales d'aménagement des eaux, qui sont sujettes à des prescriptions particulières du fait de l'enjeu des ressources visées. Une réduction importante des prélèvements à l'Albien semble résulter de l'établissement des redevances. Toutefois, un vieillissement des ouvrages et des crépines conduit en parallèle à l'abandon des forages principalement pour des raisons d'ensablement. Ce phénomène, conjugué à la limitation du nombre de nouveaux ouvrages, se traduit par une baisse significative du nombre total d'ouvrages productifs. Ainsi, d'après le bilan dressé par Berger (1978), sur 57 ouvrages réalisés au total à cette date, seuls 30 sont en service. Ce rapport (Berger, 1978) réaffirme le caractère exceptionnel des eaux issues de l'Albien en raison de son écoulement extrêmement lent et de son caractère car sont protégées des contaminations atmosphériques et de surfaces. Il préconise la nécessité de destiner cette eau à un usage alimentaire ou industriel très spécifiques où cette qualité d'eau est requise. En effet, ces eaux sont douces, équilibrées, bicarbonatées calciques et sodiques et bactériologiquement pures.

En 1979, le Service interdépartemental de l'industrie et des mines d'Île-de-France produit un rapport intitulé « Définition d'une gestion rationnelle de la nappe de l'Albien ». Ce rapport préconise de limiter les prélèvements à l'Albien à un volume annuel total (en Île-de-France) de 18 millions de m³. Cette mesure qui limite pour la première fois les volumes prélevés, se traduit par une stabilisation des prélèvements au cours des années 1980–1990.

Le premier Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE, 1996) du bassin Seine et cours d'eau côtiers normands institue les nappes de l'Albien et du Néocomien comme ressource stratégique pour l'eau potable. Le volume maximal de 18 millions de m³ par an est alors étendu par erreur à l'ensemble du bassin, ce qui est mal reçu par les exploitants qui trouvent la mesure trop stricte.

Les prélèvements oscillent entre 19 et 22 millions de m³ à l'échelle du bassin au cours de la décennie qui suit le SDAGE. Ce dernier ordonne également l'élaboration d'un modèle de gestion, ce qui conduira à l'établissement du premier modèle numérique en 1999 Hydroexpert, en parallèle de celui élaboré à finalité scientifique pour mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique des aquifères de l'Albien et du Néocomien par modélisation des écoulements couplés au transfert de traceurs géochimiques et isotopiques par Raoult (1999).

Le décret du 21 février 2003 vient préciser le SDAGE de 1996 et fixe à 29 millions de m³ le plafond des prélèvements à l'échelle du bassin, pour l'Albien et le Néocomien. Le détail des prélèvements autorisés pour chaque département est indiqué. Ce décret met en place un indicateur piézométrique qui régit les modalités de pompage (distribution géographique et débits). Il structure aussi l'utilisation de l'Albien comme ressource de secours (répartition des ouvrages, débits de production). Ces dispositions sont synthétisées dans l'article de Verjus paru en 2003 dans la Houille Blanche.

Le décret du 11 septembre 2003 classe les nappes de l'Albien et du Néocomien en Zone de Répartition des Eaux (ZRE). À ce titre, les prélèvements sont soumis à autorisation dès 8 m³/h. Des arrêtés viendront entériner au niveau départemental le classement en ZRE entre 2004 et 2007.

Les deux décrets pris en 2003 amorcent une décroissance progressive des prélèvements, qui passeront de 19,3 millions de m³ en 2003 à 14,2 millions de m³ en 2017.

Le SDAGE 2010–2015 reconduit les dispositions prises en 2003, et entretient donc la baisse des prélèvements.

La réalisation de nouveaux forages de secours est récemment pensée comme une opportunité de développer la géothermie à l'Albien par doublet, dans la mesure également où les recherches actuelles tendent à prouver le potentiel thermique de cet aquifère. Aucun texte n'encadre spécifiquement l'utilisation de l'Albien comme ressource géothermique. Le code minier impose une demande de permis de recherche puis d'autorisation. Il serait recommandé d'acquérir, avant la mise en exploitation de l'ouvrage, une thermométrie au repos. Cela permettrait d'acquérir des données fiables sur les caractéristiques thermiques de ce réservoir et par la suite de son évolution au cours du temps.

5 Discussion et conclusions

L'aquifère de l'Albien, aquifère profond captif du bassin de Paris possédant une eau d'une qualité exceptionnelle, est exploité depuis près de deux siècles (1841–2019). Depuis lors, son niveau piézométrique n'a eu de cesse que de baisser jusque dans les années 1980, pour ensuite amorcer une remontée qui semble maintenant acquise (cartes piézométriques de 1995 et de 2018). Cette chute drastique de son niveau piézométrique de l'ordre de 100 m en un siècle a alerté les pouvoirs publics. Ainsi, plusieurs mesures ont été mises en place successivement. Elles ont été étayées grâce à plusieurs travaux scientifiques : les synthèses hydrogéologiques de Lemoine et al. (1939); de Lauerjat (1967); Vernoux et al. (1997) et plus récemment l'étude hydrodynamique, géochimique et isotopique qui a permis de réaliser la première modélisation hydrogéologique contrainte par des traceurs naturels des aquifères de l'Albien et du

Néocomien (Raoult, 1999). D'autres modèles à finalité de gestion de la ressource ont été établis en se fondant sur ces travaux (Hydroexpert, 1999 ; Seguin et al., 2015). Le dialogue entre les pouvoirs publics et le milieu académique est indispensable pour accroître notre connaissance des aquifères profonds et en assurer une meilleure gestion.

La diminution de la pression anthropique exercée sur cette ressource permet à celle-ci de se reconstituer. Cependant, il est à noter le déphasage entre le pic de pression exercée (1935) et la cote minimum atteinte par l'aquifère de l'Albien (80's). Au fur et à mesure que le cône de dépression piézométrique observé à l'Albien se déploie autour de la région parisienne, il attire des eaux en provenance des régions plus éloignées, notamment la Boutonnière du Bray, mais aussi de l'eau en provenance de l'aquifère du Néocomien et des aquifères sous-jacents par effet de drainance ascendante. Aussi, l'étude de la dynamique de l'Albien est indissociable de celle des aquifères sus- et sous-jacents (Contoux et al., 2013).

Enfin, notre connaissance du fonctionnement hydrodynamique de ces grands aquifères profonds reste limitée. Il est essentiel de maintenir des réseaux de suivi des niveaux piézométriques, des débits prélevés et des variables physico-chimiques, telles que la température par exemple, dans la mesure où ces aquifères peuvent être mobilisés pour des opérations géothermales et contribuer ainsi à l'atteinte des objectifs de la Loi pour la Transition Énergétique et la Croissance Verte (augmentation de la production des énergies renouvelables et réduction des gaz à effet de serre notamment).

Q6 Références non citées

Bouet et al. (2000a), Bouet et al. (2000b), SDAGE (2009), Verjus (2003) et Vernoux et Motteau (2000).

Remerciements. Nous adressons nos remerciements à l'ensemble de l'équipe du BRGM ayant contribué à l'élaboration de la cartographie piézométrique de juin 2018, et notamment : Eric Gomez, Violaine Bault, Fabien Paquet, Pierre-Yann David et Baptise Meyre. Nous tenons également à remercier Jacques Dentzer pour les échanges fructueux concernant l'hydrodynamique et la géothermie du bassin de Paris. Nous remercions l'Agence de l'eau Seine Normandie pour son soutien financier. Nous remercions les rapporteurs de cet article pour leurs commentaires constructifs.

Références

Berger G. 1978. La nappe de l'Albien en Île-de-France. Synthèse et actualisation des données : piézométrie, chimie, prélèvements, enquête sur les ouvrages. Rapport du BRGM 78SGN697BDP.
Bouet Y, Marti A, Bonnet M. 2000a. Agence de l'eau Seine-Normandie. Réalisation d'un modèle de gestion des aquifères de l'Albien et du Néocomien. PHASE 2 – volume 1 (rapport). Hydroexpert.

Bouet Y, Marti A, Bonnet M. 2000b. Agence de l'eau Seine-Normandie. Réalisation d'un modèle de gestion des aquifères de l'Albien et du Néocomien. PHASE 2 – volume 2 (figures). Hydroexpert, 84 p.
Contoux C, Violette S, Vivona R, Goblet P, Patriarche D. 2013. How basin model results enable the study of multi-layer aquifer response to pumping: The Paris Basin, France. *Hydrogeol J* 21/3: 545–557.
Dentzer J. 2016. Forçages environnementaux et contrôles structuraux sur le régime thermique actuel du bassin de Paris. Enjeux pour la compréhension du potentiel géothermique en Ile-de-France. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, 144 p.
Dewonck S. 2000. Géochimie isotopique des gaz rares dans les roches sédimentaires et les eaux souterraines de l'Est du Bassin parisien, contribution aux transferts massiques intrabassinaux. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 247 p.
Dupaigne T, Bault V, Meire B. 2019. Réalisation d'une carte piézométrique synchrone de la nappe de l'Albien et nouvelles thermométries du Bassin parisien. BRGM/RP-68536-FR, 85 p., 52 ill., 5 ann.
Lauverjat J. 1967. Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de l'Albien dans le centre du Bassin de Paris. Thèse de 3^e cycle. Rapport BRGM/DSGR-A-015.
Lauverjat J. 1989. Évolution piézométrique de la nappe de l'Albien dans le centre du Bassin de Paris. 114^e Congr Nat Soc Sav, Paris, pp. 157–168.
Lemoine P, Humery R, Soyer R. 1939. Les forages profonds du Bassin de Paris. La nappe artésienne des sables verts. Mém Mus Nat Hist Nat, nouvelle série. XI, 700 p. 1 carte.
Orbigny A, d'. 1843. Note sur les traces de remaniements au sein des couches de Gault ou terrain Albien de France et de Savoie. BSGF (I), t. XrV, pp. 537–546.
Raoult Y. 1995. Carte piézométrique de la nappe de l'Albien dans le centre du Bassin Parisien. Rapport de maîtrise, Université Paris VI.
Raoult Y. 1999. La nappe de l'Albien dans le bassin de Paris, de nouvelles idées pour de vieilles eaux. Thèse de doctorat de l'université Paris VI.
Raoult Y, Boulègue J, Lauverjat J, Olive Ph. 1997. Contribution de la géochimie à la compréhension de l'hydrodynamisme de l'aquifère de l'Albien dans le Bassin de Paris. *C R Acad Sci Paris Sciences de la Terre et des Planètes* 325: 419–425.
Raoult Y, Lauverjat J, Boulègue J, Olive Ph, Barriac Th. 1998. Étude hydrogéologique d'une ligne d'écoulement de l'aquifère de l'Albien dans le bassin de Paris entre Gien-Auxerre et Paris. *Bull Soc géol Fr* 169/3: 453–457.
SDAGE 2010–2015. 2009. <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/sdage-et-programme-de-mesures-r1631.html>.
Seguin JJ, Castillo C, Arnaud L. 2015. Modélisation des nappes de l'Albien et du Néocomien. Rapport final. BRGM/RP-64873-FR, 271 p., 152 fig., 21 tabl., 8 ann.
Verjus P. 2003. La nappe de l'Albien-Néocomien. Sauvegarde et mise en valeur d'une ressource stratégique pour l'alimentation en eau potable de secours.
Vernoux JF, Motteau M. 2000. Évaluation des volumes d'eaux prélevés dans l'Albien et le Néocomien. Rapport BRGM/RP-50032-FR.
Vernoux JF, Maget Ph, Afzali H, Blanchin R, Donsimoni M, Vairon J. 1997. Synthèse hydrogéologique du Crétacé inférieur du bassin de Paris. BRGM Ed., DSGR/IDF/R39702, p. 93.

Citation de l'article : Dupaigne T, Violette S. 2020. Impact de l'activité anthropique et des règles de gestion des eaux souterraines sur la ressource – exemple de l'Albien en Île-de-France. *La Houille Blanche* Vol

Questions à l'auteur

- Q1 Nous avons ajouté l'auteur de correspondance. Merci de valider. 
- Q2 Merci de vérifier la hiérarchie des intertitres. 
- Q3 Merci de vérifier les appels des figures 1 et 2. 
- Q4 Les légendes des figures 1 et 2 ont été ajoutées. Merci de valider. 
- Q5 Merci d'ajouter les références des travaux de [Hydroexpert, 1999 ; SDAGE, 1996] dans la bibliographie. 
- Q6 Merci d'ajouter les appels des références [SDAGE, 2009 ; Bouet et al., 2000a ; Bouet et al., 2000b ; Verjus, 2003 ; Vernoux et Motteau, 2000] dans le corps du texte. 
- Q7 Les références [Bouet et al., 2000] ont la même date de publication. Nous avons ajouté les alphabets « a », « b » après la date de publication pour les différencier. Merci de vérifier. 
- Q8 Merci de vérifier « XrV » dans la référence [d'Orbigny, 1843] 
- Q9 Merci de compléter la référence [Verjus, 2003] en nous fournissant les éléments manquants (le nom de la revue, la tomaisson et les folios). 