



HAL
open science

L’approvisionnement en eau potable de la ville d’Avignon. Impact de l’urbanisation sur la nappe alluviale au confluent Rhône - Durance

Salah Nofal, Bernard Blavoux, Anne Laure Cognard-Plancq, Vincent Marc,
Yves Travi

► **To cite this version:**

Salah Nofal, Bernard Blavoux, Anne Laure Cognard-Plancq, Vincent Marc, Yves Travi.
L’approvisionnement en eau potable de la ville d’Avignon. Impact de l’urbanisation sur la nappe
alluviale au confluent Rhône - Durance. *Géologues*, 2010, 167, pp.61-64. hal-02667419

HAL Id: hal-02667419

<https://hal.inrae.fr/hal-02667419>

Submitted on 31 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'approvisionnement en eau potable de la ville d'Avignon. Impact de l'urbanisation sur la nappe alluviale au confluent Rhône - Durance

Salah Nofal, Bernard Blavoux, Anne-Laure Cognard-Plancq, Vincent Marc, Yves Travi¹.

Présentation du périmètre d'étude

La ville d'Avignon s'étend au confluent du Rhône et de la Durance dans une plaine alluviale quaternaire de forme triangulaire qui a pour limites naturelles, le Rhône au nord ouest, la Durance au sud et les collines tertiaires de Chateaufort-de-Gadagne à l'est (Fig. 1). Le relief de cette plaine est peu marqué du pied des collines à l'altitude de 40 m, à l'est jusqu'au confluent à l'altitude de 16 m, à l'extrême ouest.

La basse plaine alluviale s'inscrit dans un contexte majoritairement urbanisé où les territoires agricoles n'occupent plus que 30% de la surface. Trois principaux canaux d'irrigation permettent d'alimenter en eau ces terres agricoles de manière gravitaire à l'aide de filioles. Ils jouent un rôle important dans l'aménagement de la région d'Avignon. Le canal Puy, au sud, mis en service en 1808 et long de 10 km permet de desservir 140 ha irrigués (état en 2000) dans la ceinture verte d'Avignon au niveau des berges de la Durance. Le canal Crillon, créé en 1775, s'étend du sud vers le nord sur près de 19 km en comptant ses principales filioles et irrigue 700 ha de parcelles. Le canal de l'Hôpital-Durançole, en position intermédiaire, a été mis en service dès le XIII^e siècle ; il irrigue 266 ha au sud-est de l'agglomération et se termine en ville en traversant plusieurs de ses quartiers (Fig.1).

Contexte géologique

Les alluvions grossières qui constituent la basse plaine d'Avignon proviennent majoritairement du Rhône, dans une moindre mesure, du cône de déjection de la Durance en partie sud, au moment où celle-ci abandonnait son ancien lit, qui l'amenait directement à la Méditerranée via la Crau, pour faire irruption dans le bas Rhône. Cet évènement date probablement ces dépôts du Würm récent et de l'Holocène. L'épaisseur moyenne des alluvions de la basse plaine est de 15 m. Elles sont généralement recouvertes de limons d'inondation argilo-sableux, d'épaisseur variant de 1 à 4 m.

Le substratum de ces alluvions, reconnu par de nombreux forages, est constitué essentiellement par des marnes attribuées au Miocène (Burdigalien) qui affleure à l'est et que l'on retrouve à l'ouest sur l'autre rive du Rhône. Certains forages cependant ont rencontré directement les calcaires du Barrémien sous les alluvions. Cette hétérogénéité du substratum s'accompagne aussi d'une morphologie com-

plexe puisque des pointements de calcaire crétacé s'élèvent au dessus de la plaine d'Avignon, comme au rocher des Doms qui supporte le Palais des Papes et au Mont de Vergues à Montfavet (Fig. 2). Quelques Lambeaux d'une basse terrasse du Rhône émergent aussi de quelques mètres au dessus de la plaine alluviale à l'Est de Montfavet. La coupe hydrogéologique SE-NW reconstituée à partir de quelques forages profonds (Fig. 3) rend bien compte de ce contexte.

Le système aquifère alluvial

Les alluvions récentes du Rhône et de la Durance forment le réservoir d'une nappe importante. Conformément à la nature des matériaux, des sables grossiers riches en galets, la perméabilité est élevée, de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. L'emménagement moyen, calculé par essais de nappe, est de l'ordre de 6 % (Bogner, 2004), une valeur quasi équivalente à celle de 5 % avancée par Burgéap (1995) pour la porosité efficace, car la nappe est généralement libre.

Une carte piézométrique détaillée, établie en juillet 2010, soit en période de hautes eaux (Fig. 4), montre un écoulement général E.SE-W.NW dans la partie sud-est de la plaine, révélant une alimentation par la Durance accentuée et perturbée par les importants pompages du champ captant d'Avignon. Plus au nord, les écoulements sont franchement Est-Ouest. Le gradient de la nappe est compris entre 1,5 ‰ et 3 ‰ et varie selon les secteurs et la saison. La nappe circule assez rapidement dans les alluvions (plusieurs mètres par jour). Cette nappe n'est pas profonde, 5 mètres sous la surface du sol en hautes eaux pour sa partie amont et 3 mètres seulement en aval c'est-à-

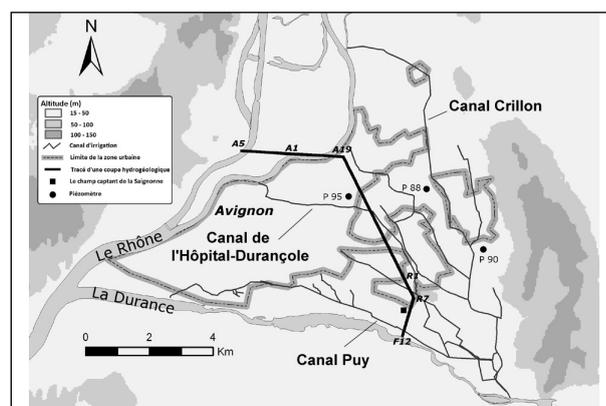


Figure 1. Situation géographique de la plaine alluviale d'Avignon (source Salah Nofal, 2010).

1. Les cinq auteurs sont au Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, UMR 1114 UAPV-INRA « EMMAH », UFR Sciences, 33 rue Pasteur, 84000 Avignon.

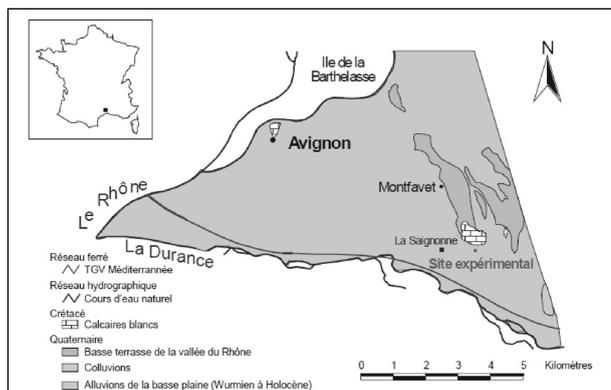


Figure 2. Schéma géologique de la plaine d'Avignon (Bogner, 2004).

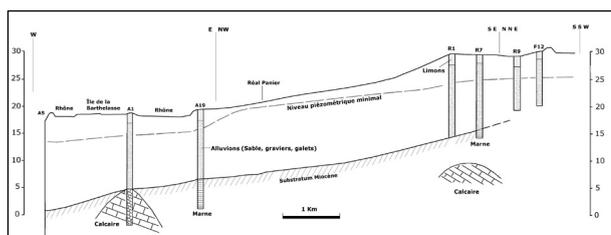


Figure 3. Coupe hydrogéologique SE-NW de l'aquifère alluvial (source Salah Nofal, d'après Durozoy 1964).

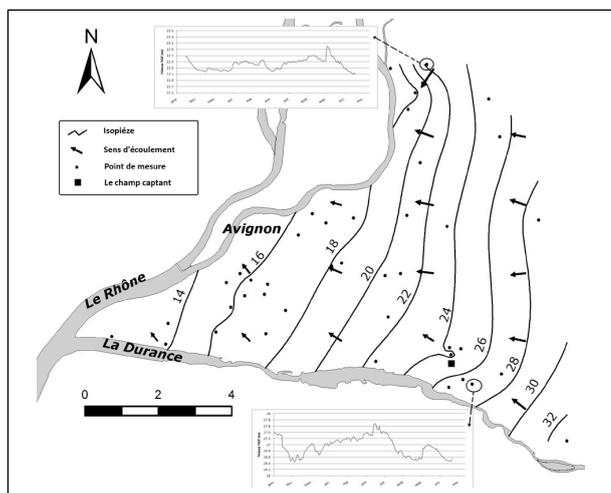


Figure 4. Carte piézométrique en hautes eaux (source Salah Nofal).

dire sous le centre ancien d'Avignon et sa proche périphérie. Cet état de fait est un obstacle majeur au creusement de sous sols et parkings dans l'agglomération.

La réalimentation de l'aquifère alluvial d'Avignon par les surplus de l'irrigation gravitaire est bien mise en évidence par les variations de niveau de trois piézomètres de l'ancien réseau de surveillance de la DIREN²- PACA³ (Fig. 5). Les deux piézomètres amont accusent classiquement des oscillations de plus de 3 m alors que le piézomètre aval, proche du niveau de base que constitue le Rhône,

présente des variations inférieures au mètre. Mais la particularité réside dans la régularité et la chronologie saisonnières de ces variations. On observe un régime de hautes eaux en été (juillet) en l'absence de pluie efficace quand l'irrigation est à son maximum et de basses eaux en hiver (février et mars) quand les canaux d'irrigation sont au chômage. Cette particularité persiste, comme le montrent les enregistrements récoltés en 2010 sur deux piézomètres du même périmètre (voir figure 4).

Ainsi, on doit considérer que l'alimentation principale de l'aquifère alluvial d'Avignon se fait sur sa frontière sud-est par les entrées en provenance de la Durance et par la réalimentation de l'irrigation gravitaire sur les terres agricoles. Les pluies efficaces et l'alimentation en provenance des versants molassiques ne jouent qu'un rôle mineur.

L'alimentation en eau potable d'Avignon

Le champ captant de la ville d'Avignon

Le champ captant de la Saignonne situé à quelques kilomètres au sud-est d'Avignon (voir figure 1) constitue la seule ressource en eau potable de la collectivité. Il est constitué de 18 puits ou forages d'une profondeur moyenne de 20 m atteignant le substratum marneux. Ces ouvrages puisent en moyenne 40 000 m³/jour pour 100 000 usagers. Leur capacité maximum peut atteindre 57 000 m³/jour.

La couche de limon de surface a une épaisseur comprise entre 1 et 3 m et une perméabilité de l'ordre de 1.10⁻⁵ m/s. Le réservoir alluvial, constitué de sable grossier à moyen avec de nombreux galets, est épais en moyenne de 17 m et a une perméabilité de 7.10⁻³ m/s. Les transmissivités mesurées sont comprises entre 5.10⁻² et 2.10⁻¹ m²/s.

L'écoulement de la nappe se fait vers le nord-ouest, de la rivière vers la nappe, phénomène accentué par les pompages. Les basses eaux correspondent à la période hivernale et à un débit de la Durance inférieur à 20 m³/h,

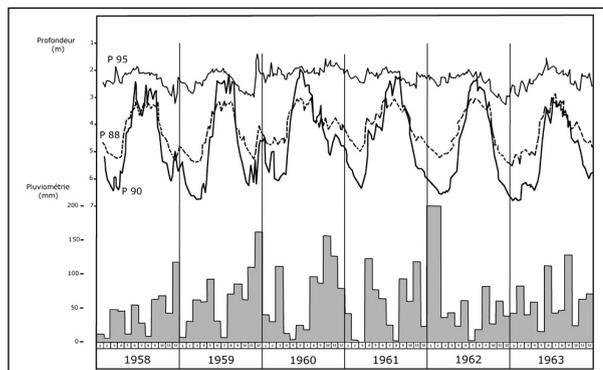


Figure 5. Variations pluriannuelles de niveau dans 3 piézomètres du système alluvial (Durozoy 1964).

2. DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) aujourd'hui.

3. Provence - Alpes - Côte d'Azur.

les hautes eaux, à la période estivale (irrigation) ou à des crues de la Durance. Ces observations témoignent d'une double alimentation de l'aquifère par la Durance et par les surplus de l'irrigation gravitaire. Le niveau de la nappe oscille vers 5 m de profondeur, soit au dessous de la base des limons peu perméables ; la nappe est donc libre dans ce secteur. En cas de très forte crue de la Durance, la nappe peut être, pendant quelques jours, captive sous les limons.

L'eau prélevée sur le site de la Saïgnonne est de bonne qualité, de type bicarbonaté calcique, assez minéralisée avec une conductivité électrique de 700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et dure. Elle présente des teneurs en sulfate significatives (100 mg/l) d'origine durancienne et des teneurs en nitrates très faibles de l'ordre de 4 mg/l. Préalablement à son refoulement vers les réservoirs et dans le réseau, l'eau est stérilisée par un traitement au bioxyde de chlore.

La ressource est donc abondante, de bonne qualité mais unique et elle est vulnérable dans un environnement urbanisé en pleine extension. Pour sa protection, deux aspects méritent d'être abordés, l'aspect qualitatif avec la vulnérabilité de l'aquifère et les mesures de protection du champ captant mais aussi l'aspect quantitatif avec l'impact possible de la diminution des surfaces agricoles irriguées sur l'alimentation de l'aquifère.

Vulnérabilité de la ressource et protection

La nappe est peu profonde (5 m) et de ce fait très vulnérable. Sa seule protection naturelle est assurée par la couche de limon de surface qui assure une forte rétention et une infiltration lente. Mais son épaisseur est quelquefois réduite à 1 m et cette couche de protection peut être décapée lors de chantiers de construction ou d'aménagement. La Durance, qui alimente la nappe, n'est éloignée que de 700 m des premiers ouvrages de captage et les temps de transfert depuis ses berges sont de l'ordre de 10 jours.

De nombreuses études ont été menées (Ciron, 1986 et Garnier, 1987) pour une nouvelle délimitation des périmètres de protection (Fig. 6). Le périmètre de protection rapproché a été étendu au lit de la Durance sur ses deux berges et sur une distance de près de 4 km vers l'amont et le périmètre de protection éloigné agrandi vers l'est - sud-est de façon à englober le technopôle d'Agroparc et la zone aéroportuaire.

La construction de la ligne TGV qui traverse le périmètre rapproché sur près de 1 200 m entre la Durance et les puits, à quelque 600 m de ceux ci (voir figure 6), a nécessité de la part de la SNCF d'importants travaux de protection du champ captant avec la mise en place d'un dispositif hydraulique destiné à intercepter toute pollution de la nappe pouvant résulter du chantier (Burgéap, 1995). Une barrière hydraulique constituée par 5 ouvrages de pompage disposés entre le champ captant et la ligne TGV

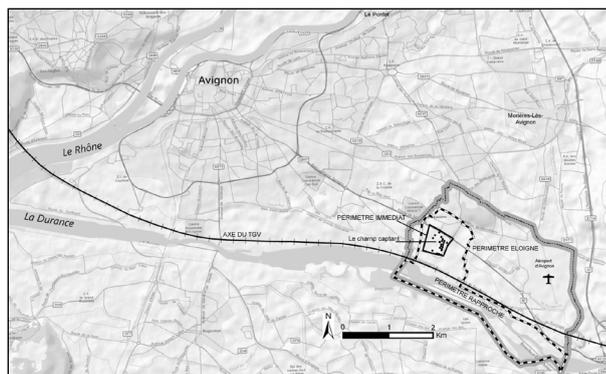


Figure 6. Tracé des périmètres de protection du champ captant d'Avignon (source Salah Nofal, 2010, d'après Burgéap 1995).

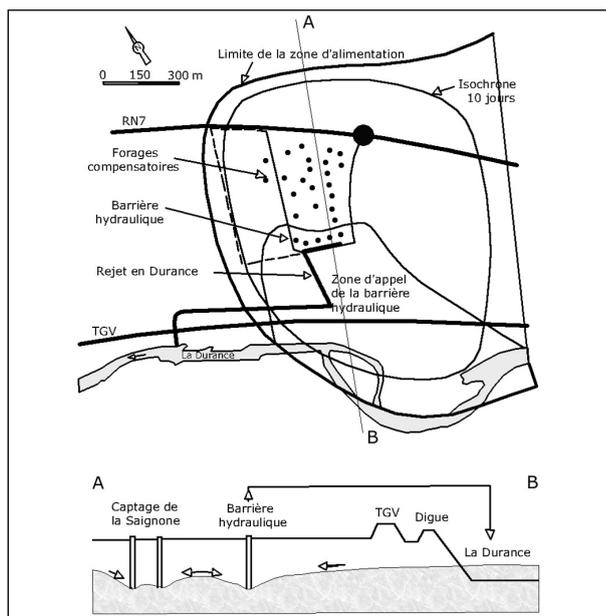


Figure 7. Schéma du dispositif de la barrière hydraulique et de son fonctionnement (Burgéap, 1995).

(Fig. 7) a pour fonction de créer une dépression continue dans la nappe sur toute la largeur du front (700 m) capable d'intercepter d'éventuelles pollutions. Les eaux pompées par la barrière hydraulique sont rejetées en aval, dans la Durance, par une conduite de 1 km.

Un essai de fonctionnement de la barrière hydraulique durant 15 jours avec une simulation de transfert de pollution par injection de 2 traceurs (iodure de sodium et amino G acide) a confirmé l'efficacité de la protection dynamique du champ captant.

Ce dispositif n'a pas eu à fonctionner pendant toute la durée des travaux TGV. Il reste néanmoins en place et constitue un ouvrage de protection du champ captant contre une pollution accidentelle en provenance de la Durance. Il n'a pas été possible jusqu'à présent de trouver pour la ville d'Avignon une ressource de substitution

dans la nappe alluviale en relation avec le Rhône, notamment à cause de teneurs élevées en fer et manganèse entraînées par les aménagements hydrauliques du fleuve dans les années 70. C'est pourquoi, en parallèle à ces travaux le réseau AEP d'Avignon a été connecté à celui du Syndicat Rhône-Ventoux, pour assurer une alimentation de crise en cas de pollution survenant à la Saignonne.

Impact des changements d'occupation des sols sur l'alimentation

Le problème est posé et mérite d'être quantifié. On sait, d'après de nombreuses études menées sur la plaine alluviale de Basse Durance, notamment dans la région de Cavaillon (synthèse de B. Blavoux 2003), que 25% des eaux apportées par l'irrigation gravitaire s'infiltrent et réalimentent l'aquifère. Cette évaluation a d'abord été obtenue de manière globale, dès 1991, en utilisant le marquage isotopique naturel (^{18}O de la molécule d'eau) des eaux d'origine durancienne. Elle a été confirmée et affinée par des bilans hydrologiques réalisés en 1999 sur le périmètre expérimental du canal Saint Julien (Cavaillon). Pour l'ensemble de ces canaux et filioles d'irrigation desservant 3 800 hectares, le total des prélèvements s'élevait en 1999 à 162,4 millions de m^3 , dont 44,5 (27%) avaient réalimenté l'aquifère, comme cela a été montré.

La disparition des zones irriguées dans la partie sud-est de la plaine alluviale d'Avignon porterait donc atteinte à une partie de l'alimentation du champ captant. Même si on peut penser que cette perte serait compensée par des venues de la Durance, il vaut mieux conserver une dualité d'alimentation au champ captant, en cas de pollution de la rivière qui nécessiterait l'activation de la barrière hydraulique.

À l'échelle de la plaine alluviale d'Avignon, la poursuite de l'extension de l'agglomération vers l'est, entraînerait la disparition des périmètres encore irrigués et porterait atteinte au soutien de la nappe, à son débit, à son niveau et peut-être à sa qualité.

Conclusion et perspectives

L'alimentation en eau potable de la ville d'Avignon provient d'une source unique en nappe alluviale, le champ captant de la Saignonne qui doit ses débits importants et sa bonne qualité à la seule Durance. Cette alimentation se fait en effet à la fois de façon directe par infiltration de l'eau du fleuve à travers ses berges et de façon indirecte par les surplus infiltrés de l'irrigation gravitaire dont l'eau est dérivée de cette même Durance un peu en amont. Cette unique dépendance poserait de graves problèmes si la Durance venait à connaître une pollution accidentelle. C'est pourquoi la ville cherche une ressource alluviale de qualité dépendant du Rhône, en vain jusqu'à présent, car les ressources

reconnues sont polluées par le fer et le manganèse.

L'extension de l'agglomération bloquée par le Rhône s'est rapidement faite vers l'Est transformant des terres irriguées en zones résidentielles. L'impact de l'irrigation sur la nappe alluviale s'en trouve réduit. Les conséquences de cette situation ne sont pas quantifiées et on ne saurait dire comment elles sont préjudiciables à la ressource et à sa qualité. C'est pourquoi l'un de nous (S. Nofal) a entrepris un travail de thèse sur ce système hydrogéologique avec comme objectif l'élaboration d'un bilan en eau au pas de temps mensuel ou évènementiel si possible. Le but ultime sera de proposer un modèle de fonctionnement hydrogéologique de la zone intégrant le rôle du sol et de son usage.

L'installation de la ville sur un aquifère peu profond (3 à 4 m) et abondant pose par ailleurs d'autres problèmes qui ne peuvent pas être développés ici. Outre que cette situation constitue un gros handicap dès que l'on doit creuser des excavations, elle a longtemps interdit à la ville de traiter ses eaux usées qui étaient trop diluées par les entrées d'eau claire du fait que le réseau de collecteurs se trouvait sous le niveau de la nappe. Ainsi, jusque dans les années 1990, les effluents de la zone urbaine d'Avignon étaient évacués vers le Rhône sans traitement préalable car l'application des procédés classiques d'épuration n'était pas envisageable à cause d'une DBO_5 des effluents trop faible ($< 8 \text{ mg/l}$) et d'un débit trop élevé, rarement inférieur à $5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Remerciements

Les auteurs remercient M. Ogias et Mme Bizard de la Mairie d'Avignon, MM. Gourmelon et Bahègne ainsi que Mme Guiroy-Vannier de la Communauté du Grand Avignon (COGA) et M. Muscat de la Chambre d'Agriculture de Vaucluse pour les données et renseignements qu'ils nous ont communiqués.

Références

- Blavoux B., 2003 : La réalimentation de l'aquifère alluvial par l'irrigation gravitaire en Basse Durance. Études Vauclusiennes n° 70, juillet-décembre 2003.
- Bogner C., 2004 : Étude hydrodynamique et hydrochimique de la nappe alluviale à la confluence Rhône-Durance, Mémoire de Master 2, Université d'Avignon, 42 p.
- Burgéap, 1995 : État de référence des eaux souterraines et proposition de suivi des impacts - Confluence Rhône/Durance-Bonpas, rapport R/Av. 422 A.4607-C795.221.
- Ciron P et Garnier J.-L., 1986 : Vulnérabilité et protection du champ captant de la Saignonne (Vaucluse). Rapport BRGM 86 SGN 284 PAC.
- Durozoy G., Gouvernet Cl., Margat J., 1964 : Recherches hydrogéologiques dans la zone Avignon-Sorgues. Rapport BRGM, DS-GR 64 A22.
- Garnier J.-L., 1987 : Propagation des pollutions accidentelles et protection des ouvrages de captage en nappe alluviale- Site expérimental d'Avignon (84), nappe de la Durance. Rapport BRGM 87 SGN 839 PAC.
- Monjuvent G. *et al.* 1991 : Notice explicative de la feuille Avignon à 1/50 000. Carte géologique de la France à 1/50 000 feuille Avignon. Édition du BRGM -BP 6009 - Orléans.