



HAL
open science

Relation entre la source de Fontaine de Vaucluse et le forage de Vallon de l'oule

Leïla Serène, Marc Vincent, Marina Gillon, Milanka Babic, Guillaume Cinkus,
Julien Dupont, Konstantinos Chalikakis

► **To cite this version:**

Leïla Serène, Marc Vincent, Marina Gillon, Milanka Babic, Guillaume Cinkus, et al.. Relation entre la source de Fontaine de Vaucluse et le forage de Vallon de l'oule. 2025. <hal-05087867>

HAL Id: hal-05087867

<https://hal.science/hal-05087867v1>

Preprint submitted on 28 May 2025

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.

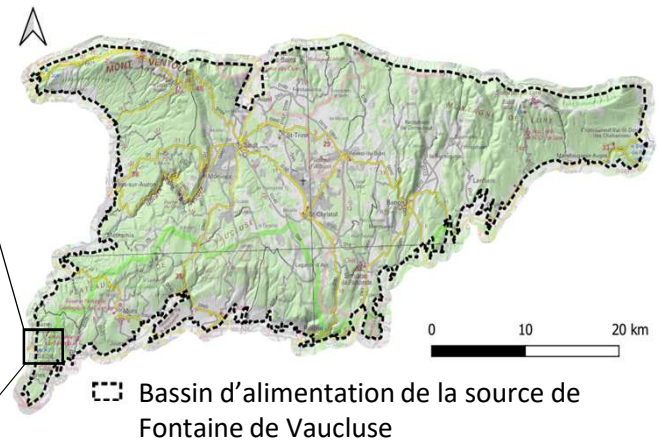
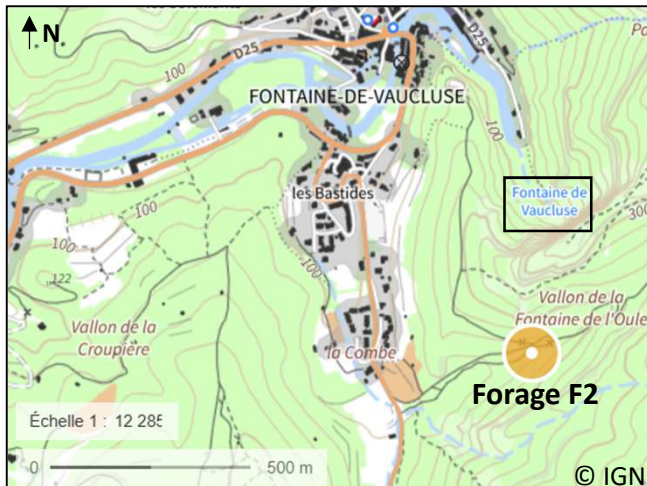


Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License



Aquifère de Fontaine de Vaucluse : prélèvements au Forage de Vallon de l'Oule

L'aquifère de Fontaine de Vaucluse est **difficilement accessible** en raison de sa grande profondeur et du faible nombre de forages permettant d'y accéder. Le **forage F2, situé à proximité du gouffre** est un accès privilégié à l'aquifère, en amont de la source, susceptible de contribuer à l'étude de Fontaine de Vaucluse.



La source de Fontaine de Vaucluse et le forage sont-ils directement liés ?



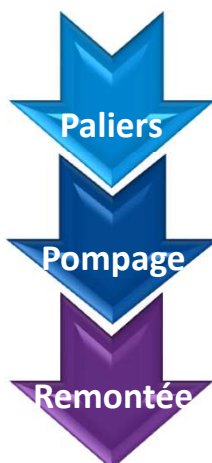
Actions

Nous avons profité d'une **opération de nettoyage et de développement** du forage F2 réalisée par Hydrosol Ingénierie en novembre 2024 pour **prélever des échantillons d'eau** pour analyse :

- **Éléments majeurs (Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , ...)**
- **Carbone organique total (TOC)**
- **Activité Tritium (3H)**
- **Isotopes stables de l'eau**



Prélèvements réalisés à des étapes stratégiques de l'opération de nettoyage et de développement du forage :



4 périodes de pompage d'1h (34, 47, 59 et 70 m³/h) intercalées avec des périodes d'1h de remontée de nappe
→ **Prélèvement avant et à la fin de chaque palier [4 Nov 2024]**

36h de pompage total à un débit compris entre 50 et 60 m³/h.
→ **Un prélèvement à la fin des pompages [8 Nov 2024]**
→ Analyse supplémentaire de l'activité ¹⁴C et du $\delta^{13}C$

Reprise des pompages le 11 novembre pour développer l'ouvrage
→ **Prélèvement avant le second pompage longue durée [11 Nov 2024]**

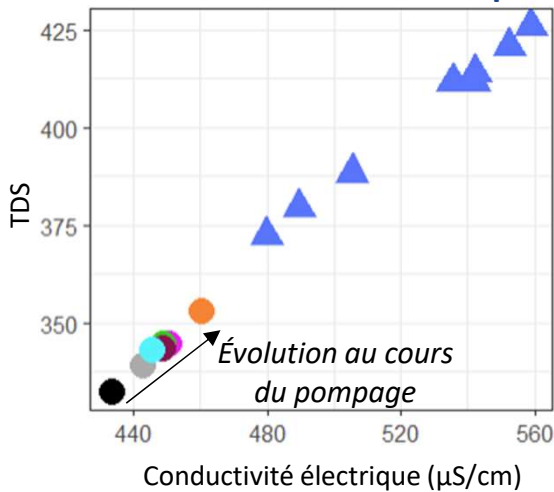
L'eau du forage est-elle la même que celle de Fontaine de Vaucluse ?

Outils

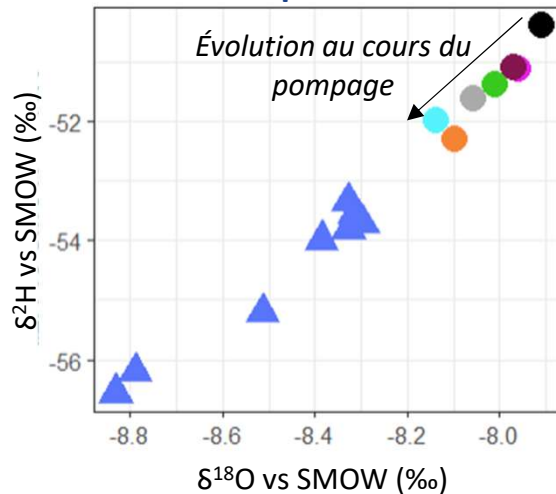
- **TDS** : correspond à la charge minérale totale dissoute, ici il s'agit de la somme des concentrations en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} .
- **Conductivité électrique** : capacité des ions en solution à conduire un courant électrique. Elle se mesure sur le terrain et sert d'indicateur de la minéralisation totale de l'eau.
- **Isotope** : différents atomes d'un même élément distingués par leur masse. Pour l'eau H_2O , ^1H et ^{16}O sont les isotopes « légers » et ^2H et ^{18}O les isotopes « lourds ».
- **$\delta^2\text{H}$ vs SMOW et $\delta^{18}\text{O}$ vs SMOW** : rapport isotopique correspondant à la proportion d'atome « lourd » (^2H et ^{18}O) par rapport à l'atome léger (^1H et ^{16}O).



TDS & Conductivité Électrique



Isotopes Stables



- ▲ Fontaine de Vaucluse Forage Vallon de l'Oule
- Avant pompage
 - 1er palier
 - 2ème palier
 - 3ème palier
 - 4ème palier
 - Fin pompage
 - Remontée

	TDS et Conductivité Électrique	Isotopes stables
Alignement des points	Relation linéaire attendue car les deux variables représentent la minéralisation de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Pour Fontaine, relation linéaire attendue car les proportions des deux variables sont régies par les mêmes phénomènes (fractionnement isotopique) • Alignement des eaux du forage avec Fontaine : les eaux proviennent des pluies tombées sur un même secteur géographique (droite météorique locale)
Evolution au cours du pompage	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau du forage évolue vers un pôle plus minéralisé et appauvri en isotopes stables • L'eau du forage se rapproche de la gamme de valeur de la source 	

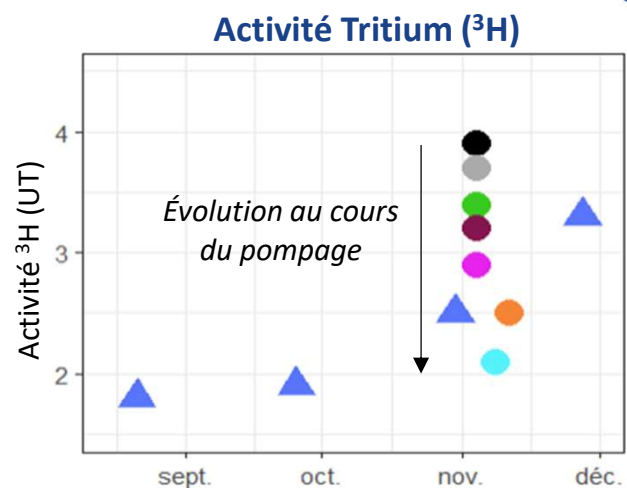
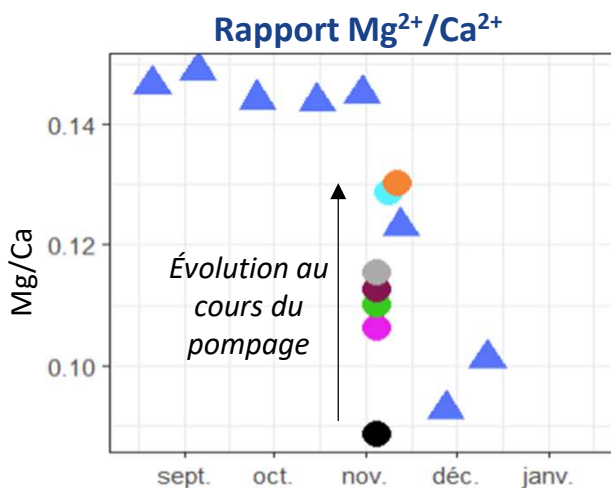
Bilan

L'eau du forage de Vallon de l'Oule ressemble beaucoup à celle de la source de Fontaine de Vaucluse, encore plus lorsqu'on pompe.
 → L'eau du forage de Vallon de l'Oule est une partie de l'eau retrouvée à la source de Fontaine de Vaucluse

L'eau du forage a-t-elle le même âge que celle de Fontaine de Vaucluse ?

Outils

- **Mg/Ca** : il s'agit du **rapport des concentrations en Mg^{2+} et en Ca^{2+}** en meq/L. Il permet d'estimer qualitativement la durée d'interaction eau-roche en milieu carbonaté. Au contact de l'eau, la calcite $CaCO_3$ contenant des impuretés est dissoute, relarguant des ions Mg^{2+} , Ca^{2+} et HCO_3^- . Lorsque l'eau est saturée en ions Ca^{2+} et HCO_3^- , de la calcite plus pure va précipiter, diminuant les concentrations en ces ions mais laissant identiques les concentrations en Mg^{2+} .
- **L'activité Tritium (3H)** : il s'agit d'un isotope de l'hydrogène pouvant être présent dans la molécule d'eau H_2O et naturellement présent dans l'eau de pluie. En s'infiltrant dans le sol pour constituer les eaux souterraines, l'activité 3H de l'eau va diminuer en raison de la désintégration radioactive.



- ▲ Fontaine de Vaucluse Forage Vallon de l'Oule
- Avant pompage
 - 1er palier
 - 2ème palier
 - 3ème palier
 - 4ème palier
 - Fin pompage
 - Remontée

Rapport Mg/Ca & Activité Tritium (3H)	
Variation temporelle	<ul style="list-style-type: none"> • Avant Novembre, Mg/Ca supérieur à la source par rapport au forage et activité 3H inférieure : l'eau de la source est plus ancienne • Après Novembre, la valeur à la source diminue car elle est diluée par des eaux récentes, à la durée d'interaction eau-roche plus faible
Evolution au cours du pompage	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau du forage évolue vers une eau plus ancienne et minéralisée • L'eau du forage se rapproche de la gamme de valeur de Fontaine de Vaucluse

Bilan

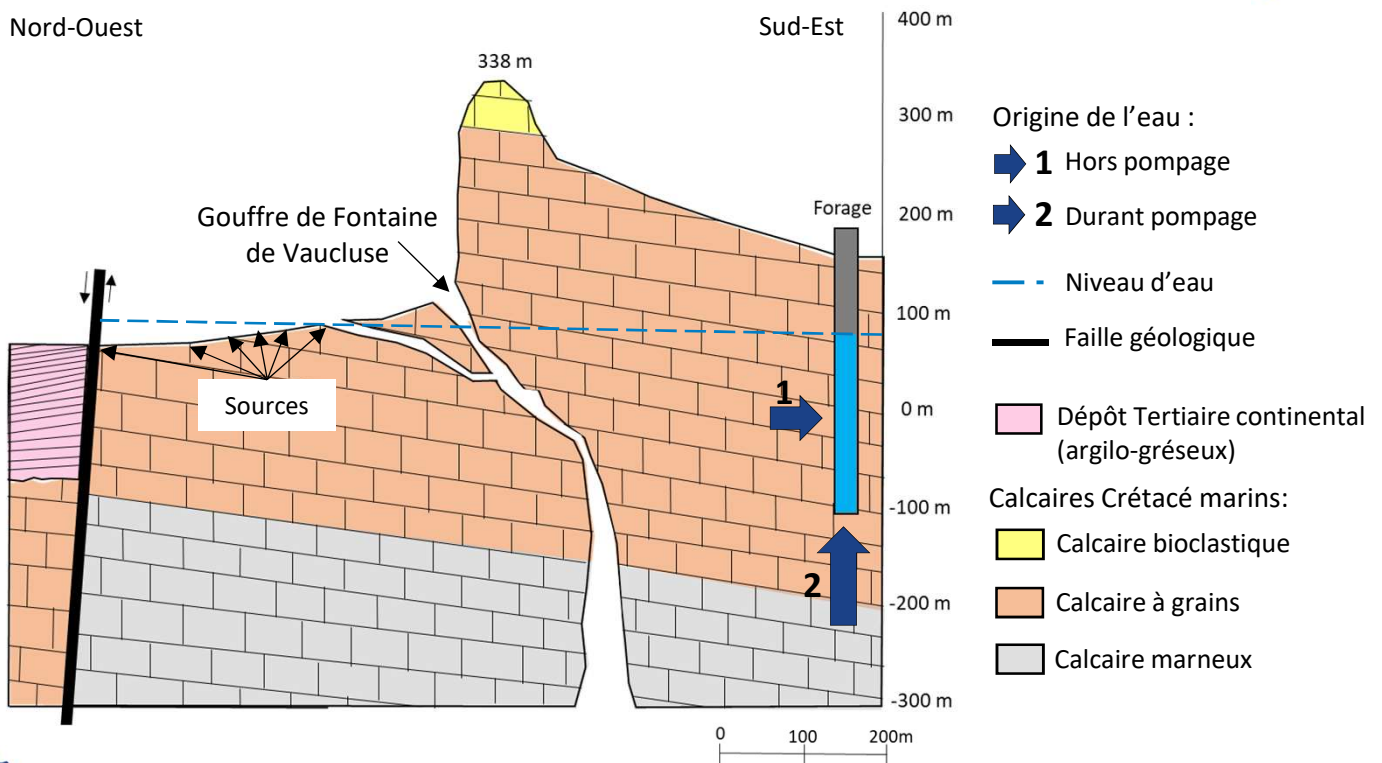
L'eau du forage de Vallon de l'Oule est **plus récente** que celle de Fontaine de Vaucluse. En **pompant** on sollicite des **eaux d'âge comparable à la source**.

Note : les résultats d'analyse de l'activité ^{14}C et du $\delta^{13}C$ ne sont pas présentés ici car ils ne sont pas concluants. L'activité ^{14}C dont la désintégration radioactive permet de quantifier l'âge de l'eau à partir du CO_2 du sol, peut être influencée par la proportion de ^{14}C par rapport au ^{13}C des roches carbonatés. Cette influence vient brouiller le signal de la désintégration du CO_2 du sol, rendant impossible l'estimation de l'âge des eaux.

Schéma conceptuel de relation entre la source et le forage

Contexte géologique

- Les **calcaires** constituant l'aquifère de Fontaine de Vaucluse ont été **déposés en milieu marin** il y a plusieurs millions d'années (âge Crétacé). L'endroit exact où ils ont été déposés influence la composition et les propriétés des calcaires.
- Ces roches déposées horizontalement ont été **inclinées et fracturées** par la formation des Pyrénées et des Alpes ainsi que l'ouverture du golfe du Lion. La faille principale a permis le dépôt de roches plus récentes, d'âge Tertiaire. Cette **faille est une barrière aux écoulements**, elle est imperméable.



Bilan

Connexion hydraulique entre le forage et la source

La hauteur d'eau dans le forage correspond à l'altitude de la source principale de Fontaine de Vaucluse et est cohérente avec la présence de nombreuses sources en aval du gouffre.

Hors pompage, la source sollicite des eaux plus anciennes et profondes que le forage

- Le gouffre de Fontaine de Vaucluse atteint des profondeurs plus importantes que le forage.
- Les analyses chimiques de l'eau de la source et du forage indiquent que l'eau du forage correspond à une partie de l'eau retrouvée à Fontaine de Vaucluse.

En pompant dans le forage, on sollicite des eaux profondes et anciennes retrouvées à la source

En pompant, l'eau sollicitée dans le forage est plus ancienne et se rapproche du signal de Fontaine de Vaucluse.

Travaux en cours

- Suivi isotopique des eaux des pluies du plateau d'Albion (projet RAIN débuté printemps 2024)
- Modélisation géologique et hydrogéologique de l'aquifère de Fontaine de Vaucluse (thèse 2024-2027)