

**MAITRE DE L'OUVRAGE :**

**SIAE de la SAINTE BAUME**

Hôtel de Ville  
Avenue Julien Jourdan  
83860 NANS LES PINS

## RAPPORT DE FIN DE POMPAGE



Ingeneria/2016025/BH/CL/juillet 2017



Ingénierie du  
développement des territoires  
Eau - Energies renouvelables

4 rue de Gérin Ricard - Résidence Marseille Clary - Apt  
A53 - 13003 MARSEILLE  
Siret : 752 183 988 00019 - Tél : 06 19 50 36 22  
Mel : [Contact@ingeneria.fr](mailto:Contact@ingeneria.fr) [www.ingeneria.fr](http://www.ingeneria.fr)

## SOMMAIRE

1	RESUME .....	Erreur ! Signet non défini.
2	CHRONOLOGIE D'INTERVENTION.....	3
3	ETUDE QUANTITATIVE.....	4
3.1	Interprétation essai de pompages .....	4
3.1.1	Pompage par paliers.....	4
3.1.2	Pompage de longue durée .....	5
3.1.3	Calcul de la transmissivité de l'aquifère.....	7
3.2	Influence de la pluie sur le niveau piézométrique .....	8
3.3	Fonctionnement de l'aquifère.....	9
4	ANALYSE DE LA QUALITE DES EAUX .....	10
4.1	Influence des précipitations sur la turbidité .....	10
4.2	Influence des pompages sur la turbidité.....	11
4.3	Influence des pompages de Rondoline sur les forages de la Foux.....	12
5	CONCLUSION .....	13

### Liste des figures

Figure 1 : Courbe caractéristique du forage de Rondoline et extrapolation des pertes de charges linéaires et quadratiques.....	5
Figure 2: Variation du niveau piézométrique du forage Rondoline durant toute la période du test.....	6
Figure 3: Courbe de rabattement du forage durant deux pompages de longue durée .....	7
Figure 4: Evolution du niveau piézométrique et hauteur de précipitations.....	8
Figure 5 : Evolution du niveau piézométrique dans Rondoline en fonction des phases de pompages et des précipitations.....	9
Figure 6 : Variation de la turbidité en fonction des précipitations .....	10
Figure 7: Evolution de la turbidité en fonction des différentes phases de pompages et de débit.....	11
Figure 8: Piézométrie de la Foux .....	12

## 1 Rappel du contexte

Les travaux réalisés, en 2016, pour le compte du SIAE sur la commune de Nans-les-Pins ont mis en évidence l'absence de ressource significative au droit du réservoir de le Foux : les terrains présentent de multiples zones broyées, mais non productives car les fractures et les diaclases sont entièrement recristallisées et donc refermées.

L'extension des recherches vers le site de Rondoline un forage a permis de mettre en évidence une ressource importante, mais la turbidité était trop importante (750 NTU) en fin de travaux en avril 2016.

Pour résoudre cette problématique, une phase de nettoyage a eu lieu par l'intermédiaire d'un pompage de très longue durée (1 mois) durant le mois de mars 2017 :

- Une pompe a été placée en fond d'ouvrage (100 mètres de profondeur),
- Une vanne permet le réglage du débit,
- Les eaux ont été rejetées directement dans le milieu naturel (rivière : le Cauron) par l'intermédiaire d'une manchette souple,
- Les équipements du forage étaient composés des moyens de mesures suivants : débitmètre, niveau piézométrique et turbidité. Mais un problème technique a empêché l'enregistrement de l'intégralité de ces valeurs,
- La tête de forage et les équipements de mesures ont été protégés du vandalisme par la mise en place d'un conteneur,
- Le groupe électrogène et sa réserve de carburant ont été placés sur une dalle bétonnée, délimité par un grillage et une porte cadénassée.

Cette phase de nettoyage couplée à une sédimentation importante des argiles dans les conduits karstique, durant la phase de repos entre 2016 et 2017, a permis à la turbidité de ne pas dépasser la valeur de 2 NTU.

## 2 CHRONOLOGIE D'INTERVENTION

Les opérations sur le forage se sont déroulées du 6 au 30 Mars 2017

Date	Evénement
6 Mars 2017	Réalisation des essais de pompage par paliers à un débit de 60, 83, 103 et 118 m <sup>3</sup> /h pendant une durée de 1 heure avec un temps de remontée de 1 heure. Niveau statique 11 m/sol. Début du pompage de longue durée à un débit de 80 m <sup>3</sup> /h.
10 Mars 2017	Augmentation du débit de pompage à la hauteur de 100 m <sup>3</sup> /h.
14 Mars 2017	Passage à un pompage durant une période de 1 heure suivi par une remontée de 1 heure a un débit de 100 m <sup>3</sup> /h.
23 au 28 Mars 2017	Arrêt du pompage à cause du dysfonctionnement du groupe électrogène.
28 au 30 Mars 2017	Reprise du pompage en continue à un débit de 100 m <sup>3</sup> /h.

## 3 ETUDE QUANTITATIVE

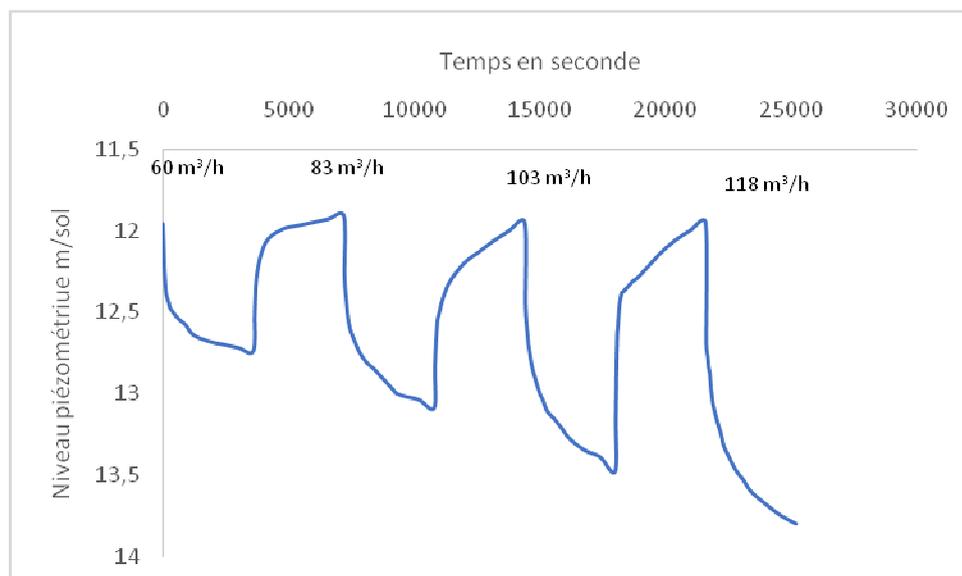
### 3.1 Interprétation essai de pompages

#### 3.1.1 Pompage par paliers

Le test a été réalisé le 06/03/2017.

**Le niveau piézométrique de la nappe au repos était de 11,96 m/sol**

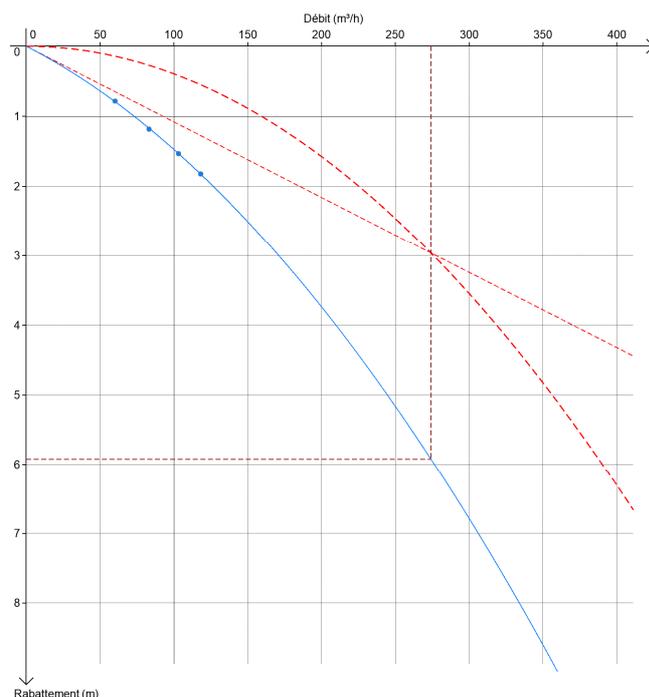
Le niveau dynamique a été déterminé par l'intermédiaire d'une sonde manuelle, ainsi qu'au moyen d'une sonde enregistreuse de données de type Diver au pas de temps de 1 minute. Quatre paliers de débit croissant (60, 83, 103 et 118 m<sup>3</sup>/h), d'une durée unitaire de 1 heure et entrecoupés d'une remontée de 1 heure également, ont été effectués. La courbe de suivi du niveau est la suivante :



Les résultats sont les suivants :

Palier 2017	Débit (en m <sup>3</sup> /h)	Rabattement (en m)
1	60	0,78
2	83	1,18
3	103	1,53
4	118	1,82

Le report de ces résultats sur une courbe est représenté sur la figure 1, page ci après :



Légende	
●	Points expérimentaux
- - -	Débit critique
- - -	PDC linéaires
- - -	PDC quadratiques
—	Courbe caractéristique du puits

Figure 1 : Courbe caractéristique du forage de Rondoline et extrapolation des pertes de charges linéaires et quadratiques

**Commentaire et interprétation :** Lors d'un pompage par paliers de débit croissant, la courbe caractéristique (courbe bleue) coupe parfaitement les points expérimentaux. Cela est le signe qu'il n'y a pas eu de développement ou bien de colmatage de l'ouvrage. La courbe caractéristique permet de définir le débit critique de l'ouvrage débit au-delà duquel les pertes de charges quadratiques prennent le pas sur les pertes de charges linéaires, mais également les coefficients de pertes de charges. Ces derniers peuvent permettre de déterminer le débit critique, ici il est estimé à 275 m<sup>3</sup>/h. Cependant, cette valeur n'est pas comparable avec la valeur déterminée précédemment, en effet le niveau statique n'était pas le même 30 m/sol contre 11m/sol. Cela a provoqué une meilleure mobilisation de l'eau du fait d'une plus grande mise en charge du conduit karstique. De plus, lors de cet essai le karst était encore sous l'influence des précipitations et a donc provoqué une recharge plus importante.

Pour une gestion pérenne de la ressource, et à la vue du caractère exceptionnel du niveau statique, la valeur de débit critique déterminée, en 2016, qui est de 100 m<sup>3</sup>/h, est toujours d'actualité.

**Le débit critique est estimé à 100 m<sup>3</sup>/h**

### 3.1.2 Pompage de longue durée

Le pompage de longue d'une durée de 25 jours a été démarré le 6 Mars 2017, à la suite du pompage par paliers. Le choix a été de pomper dans un premier temps au débit critique déterminé, en 2016, c'est-à-dire 80 m<sup>3</sup>/h. Cinq jours après, le débit a été augmenté à 100 m<sup>3</sup>/h durant une période de cinq jours, avant de commencer les phases d'arrêts reprises (1 heure de pompage suivi de 1 heure de remontée). Un problème technique a provoqué un arrêt du groupe électrogène du 23/03/2017 au 28/03/2017.

Le rejet des eaux extraites a été réalisé, en conduite souple vers la rivière le Cauron.

Contrairement aux pompages par paliers le débit et le niveau dynamique ont été suivis en continu essentiellement, seules quelques mesures manuelles ont été réalisés dans le but confirmer les résultats issue de la sonde enregistreuse.

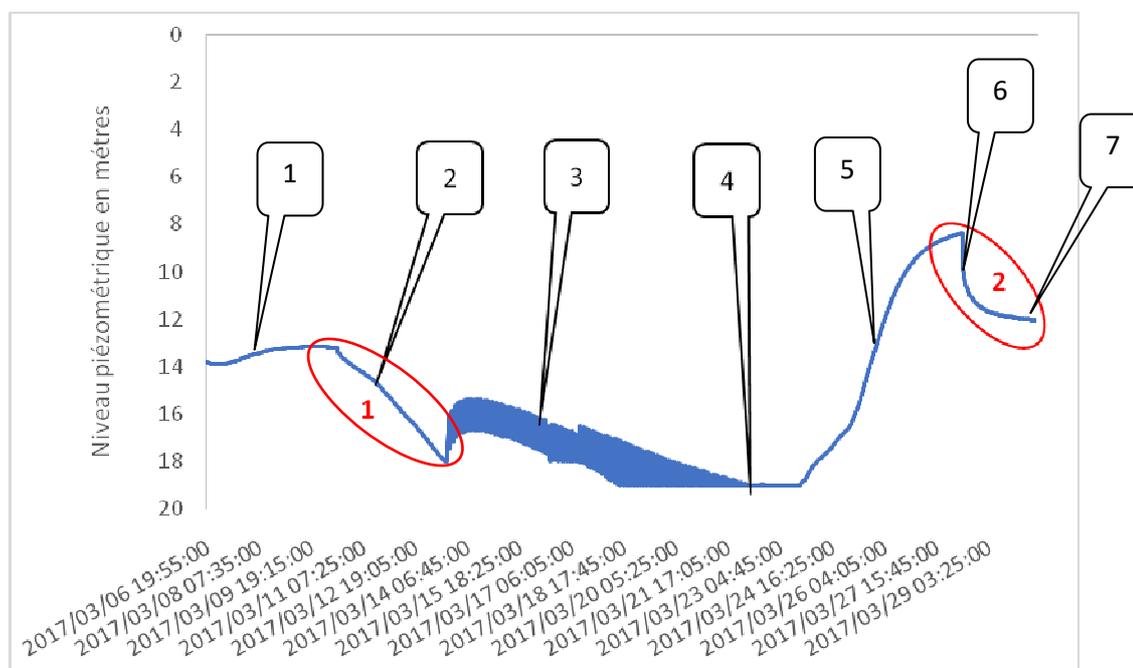


Figure 2: Variation du niveau piézométrique du forage Rondoline durant toute la période du test

**Commentaire sur la courbe :** Cette courbe subit tout d'abord une augmentation du niveau malgré un pompage de l'ordre de  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  (1), puis au moment de l'augmentation du débit à la hauteur de  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , le niveau commence à diminuer régulièrement (2). Les phases d'arrêts reprise ont provoqué une légère augmentation du niveau piézométrique (près de 2 m) avant que celui ne diminue (3). En fin de phases d'arrêt/reprise, le niveau est passé en dessous du niveau de la sonde, par conséquent, les valeurs de niveau n'ont pu être enregistrées convenablement (4). Le 23 Mars 2017, un problème technique a provoqué l'arrêt du groupe électrogène, et donc une augmentation du niveau. Cependant, celle-ci n'est pas instantanée et s'étale sur plusieurs jours, malgré l'aide apportée par les précipitations (5). La reprise de la pompe, le 28 Mars 2017, a provoqué une diminution rapide du niveau (6) suivi d'une phase de stabilisation (7).

La courbe de rabattement en échelle logarithmique permet de calculer la transmissivité de l'aquifère. Pour cela, nous allons prendre deux phases de pompage continues à débit constant pour la détermination de la transmissivité :

- La première phase de pompage(1) : correspond à la baisse du niveau au moment du changement de débit
- La seconde phase de pompage (2) : correspond au redémarrage de la pompe après son arrêt prolongé

### 3.1.3 Calcul de la transmissivité de l'aquifère

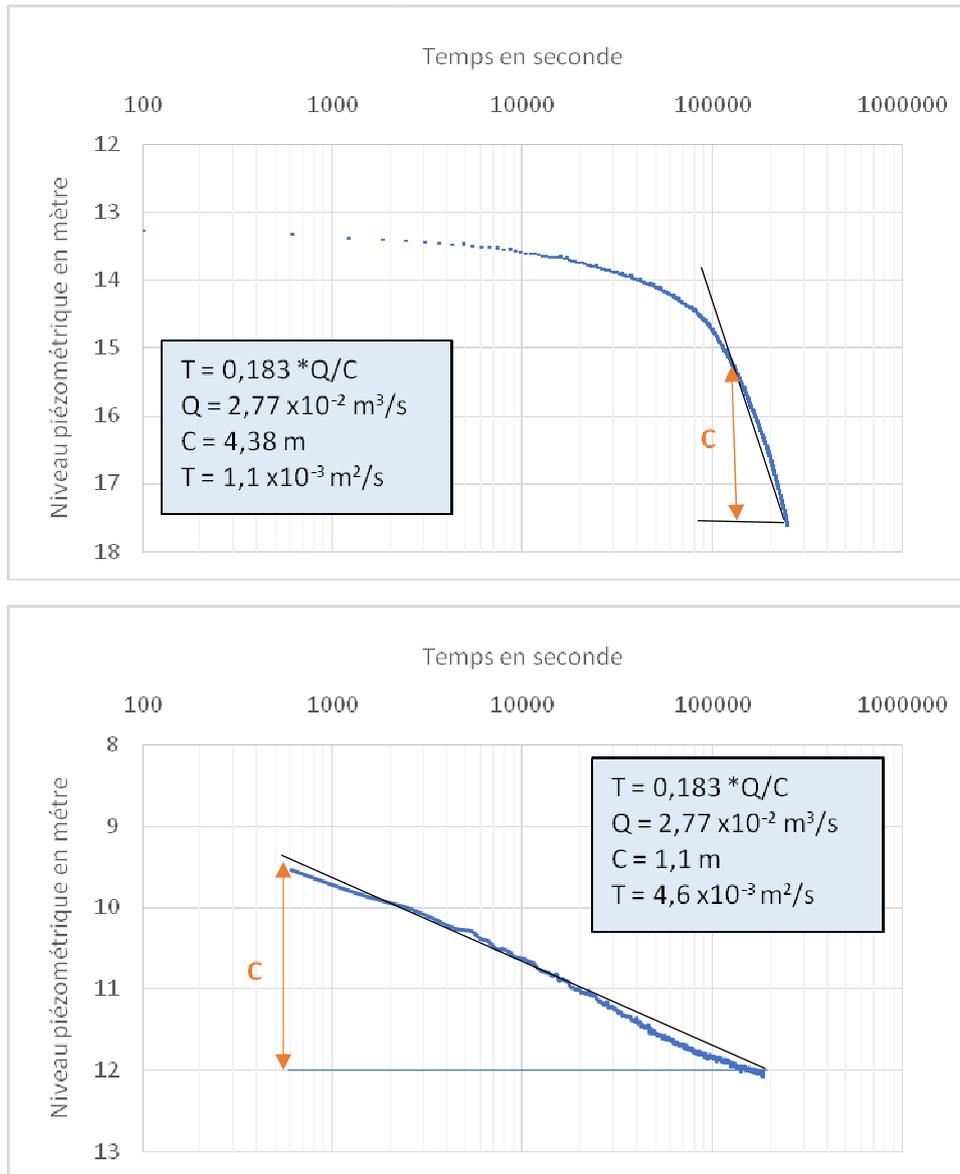


Figure 3: courbe de rabattement du forage durant deux pompages de longue durée

Les courbes caractéristiques de l'ouvrage présentées dans la figure 3 ne sont pas identiques, en effet la première laisse penser à une vidange du système, tandis que la seconde présente une stabilisation typique d'un fonctionnement d'aquifère possédant une recharge. Les transmissivités calculées montrent un aquifère hétérogène dont la transmissivité dépend du niveau d'eau. Cependant, dans ce système le niveau dépend essentiellement de la quantité d'eau apporté sous l'influence des précipitations. C'est pourquoi, lors du test de longue durée réalisée en 2016 et lors du test réalisé en début mars 2017, l'aquifère n'était plus sous l'influence des précipitations, ce qui a provoqué une baisse de la transmissivité  $1,1 \times 10^{-3}$  et  $5,24 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ , par rapport aux tests réalisés en fin mars 2017 qui donne une transmissivité de  $4,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .

**Les pompages durant les périodes de faibles précipitations provoquent une vidange du système**

### 3.2 Influence de la pluie sur le niveau piézométrique

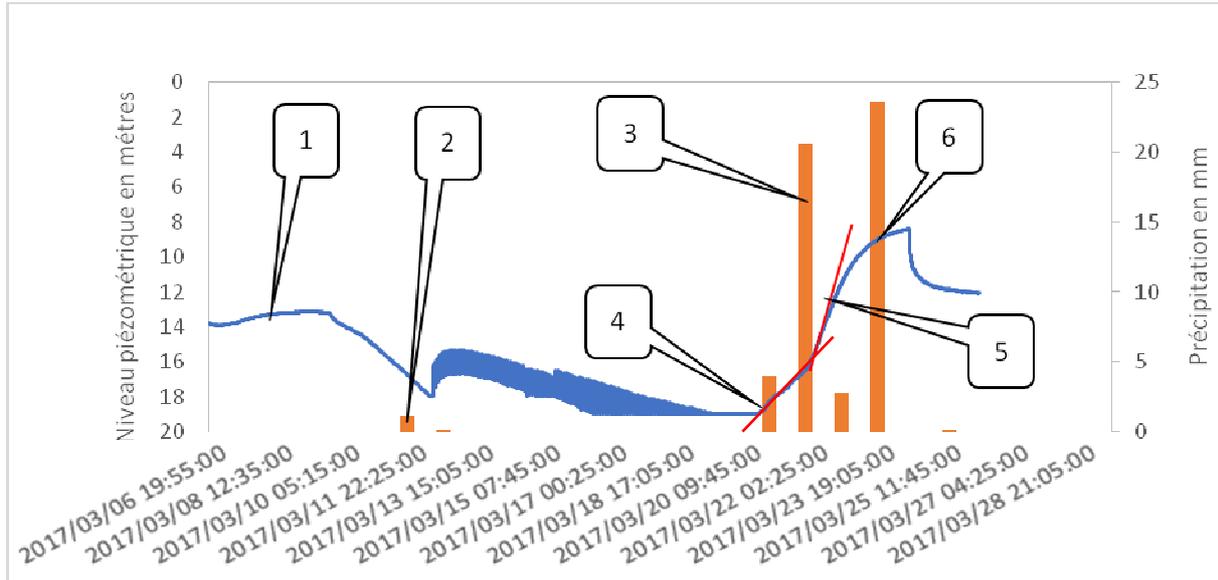


Figure 4: Evolution du niveau piézométrique et hauteur de précipitations

**Commentaire et interprétation :** Durant la phase de pompage à 80 m<sup>3</sup>/h et malgré l'absence de précipitations, le niveau continue d'augmenter (1), cette augmentation est due aux fortes précipitations qui ont eu lieu avant la mise en place des enregistrements. Cela avait considérablement fait augmenter le niveau statique. Les effets de ces précipitations sont encore perceptibles 10 jours après les précipitations. En fin de pompage à 100 m<sup>3</sup>/h, une petite précipitation de l'ordre de quelques mm a eu lieu (2) et celle-ci a provoqué une légère augmentation du niveau 24 heures après la précipitation. Cela montre que les petites précipitations ont un effet sur la recharge du karst. Au moment de l'arrêt de la pompe de fortes précipitations ont eu lieu, ce qui a provoqué une hausse importante du niveau (3). Mais l'augmentation du niveau est due d'une part à l'arrêt de la pompe et, d'autre part, aux apports des précipitations. Par conséquent, il est difficile de déterminer quelle importance à l'un et l'autre sur l'augmentation du niveau. Toutefois, il est possible de remarquer la présence de deux pentes différentes de la remontée :

- La première (4) correspond certainement à la remontée due essentiellement à l'arrêt de la pompe
- La seconde (5) est une combinaison entre la fin de la remontée due à l'arrêt de la pompe et le début de la mise en charge du karst.

Par la suite, la pente diminue de plus en plus pour atteindre une stabilisation du niveau (6), ce qui peut être le signe que la charge maximale du conduit est atteinte.

La mise en route de la pompe, juste après l'épisode de fortes précipitations, empêche l'analyse de la phase de descente naturelle, cependant le niveau semble se stabiliser contrairement au premier test à 100 m<sup>3</sup>/h. Ce qui montre que la recharge de l'aquifère est encore importante.

### 3.3 Fonctionnement de l'aquifère

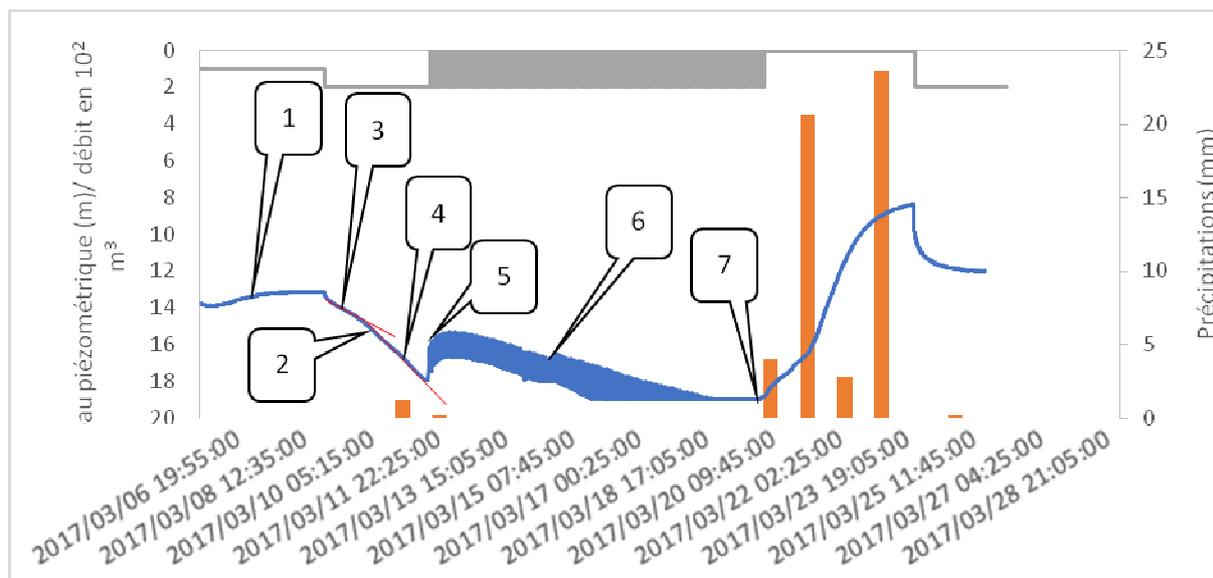


Figure 5 : Evolution du niveau piézométrique dans Rondoline en fonction des phases de pompages et des précipitations

**Commentaires et interprétation :** Durant la première phase de pompage à 80 m<sup>3</sup>/h (1), le niveau piézométrique a continué d'augmenter signe que, les précipitations survenues 8 jours auparavant permettent encore une réalimentation de l'ouvrage. Au moment du changement de débit (passage à 100 m<sup>3</sup>/h) (2), le niveau a baissé linéairement ce qui est caractéristique d'une vidange du système. En effet, en début de pompage 100m<sup>3</sup>/h le karst est certainement encore légèrement alimenté (3), mais la pente de descente va alors augmenter (4) ce qui est le signe d'une diminution de la recharge et d'un passage exclusivement à une vidange de l'aquifère. Lors du début des phases d'arrêt/reprise, le niveau augmente (5) certainement dus à l'effet des précipitations. Puis, lorsque l'effet des précipitations s'estompe, le niveau statique diminue linéairement une fois encore (6), signe d'une nouvelle vidange de l'aquifère. Comme vu dans la partie précédente, lors de l'arrêt de la pompe (7), le niveau ne remonte pas instantanément et l'effet des précipitations ne se fait ressentir que 24 heures après.

**Pour conclure l'aquifère possède une bonne capacité de production, cependant, il est très vulnérable aux périodes de sécheresse durant lesquelles les pompages provoquent une vidange du système. Cependant, même les pluies de faibles intensités provoquent une augmentation notable du niveau dans le karst qui perdure durant plusieurs jours.**

## 4 ANALYSE DE LA QUALITE DES EAUX

### 4.1 Influence des précipitations sur la turbidité

La turbidité a été mesurée par prélèvements effectués à intervalles réguliers. Durant toute la période de mesure, la turbidité n'a jamais dépassé 2 NTU.

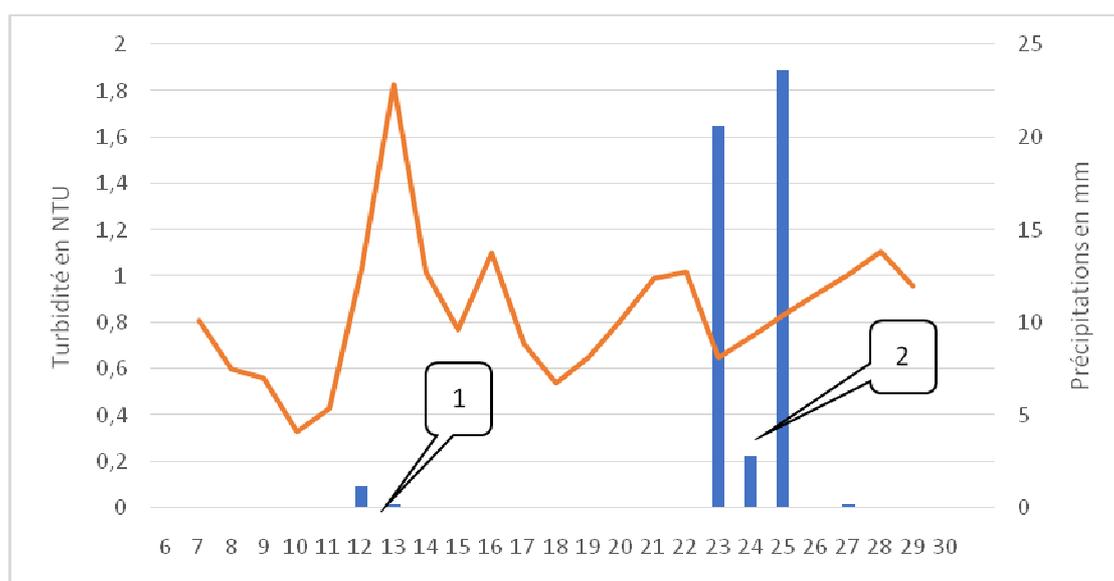


Figure 6 : variation de la turbidité en fonction des précipitations

**Commentaire et interprétation :** La petite précipitation de quelques millimètres (1), n'a eu aucun effet sur la turbidité. En effet cette dernière, lors de la précipitation, était déjà en phase ascendante du fait de l'augmentation du débit à 100 m<sup>3</sup>/h. De plus, l'épisode de précipitation intense du 23 au 25 Mars (2) a elle aussi une augmentation de la turbidité. Cependant, l'absence de pompage durant les précipitations ne nous permet pas de déterminer quels sont les effets exacts de la précipitation sur la turbidité. La mesure de turbidité du 28 Mars intervient 5 jours après les précipitations, il est donc possible que la turbidité ait atteint des valeurs plus importantes les 26 ou 27 mars... . Cela peut être confirmé par la mesure du 29 Mars qui montre une tendance à la diminution de la turbidité, ce qui correspondrait à une diminution après l'épisode de précipitations.

**Les faibles précipitations ne participent pas aux variations de turbidité, contrairement aux précipitations importantes (> 50mm) qui provoquent une augmentation significative de la turbidité, sans toutefois dépasser les 2 NTU.**

## 4.2 Influence des pompes sur la turbidité

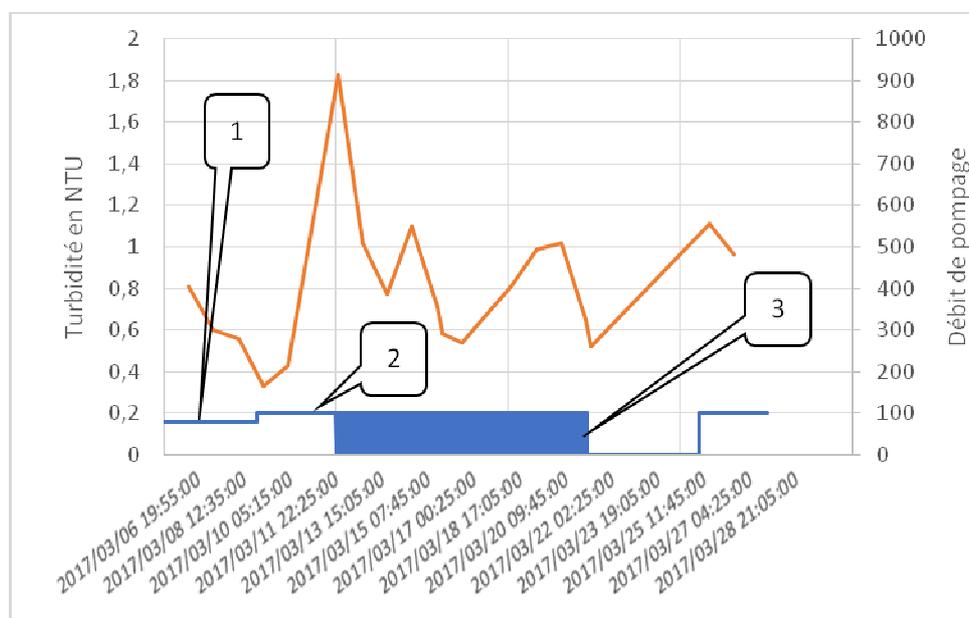


Figure 7: Evolution de la turbidité en fonction des différentes phases de pompages et de débit

**Commentaire et interprétation :** Durant la première phase de pompage à 80 m<sup>3</sup>/h (1), la turbidité a tendance à diminuer, mais le niveau reste relativement haut malgré le pompage. Cependant, au moment de l'augmentation du débit à 100 m<sup>3</sup>/h (2) la turbidité a rapidement augmenté pour atteindre une valeur proche de 2 NTU. Cela peut s'expliquer par une augmentation de la vitesse de l'eau à l'approche du forage, qui provoque une remise en suspension des argiles sédimentées. La mise en place des phases de pompage en arrêt reprise à 100 m<sup>3</sup>/h provoque une diminution de la turbidité. Néanmoins, des pics de turbidité interviennent, certainement provoqués par la mise en jeu de nouvelles fissures provoquant une mobilisation plus importante d'argile. Ces augmentations, ne durent pas dans le temps, ce qui est le signe que ces fissures se sont nettoyées. Au moment, de l'arrêt du pompage et du début des fortes précipitations (3) la turbidité a de nouveau augmenté, certainement provoqué par les fortes précipitations qui mobilisent facilement l'argile par l'augmentation de la vitesse dans les conduits et par les eaux de ruissellement. La mesure de turbidité a été réalisée plusieurs jours après la reprise de la pompe, il est donc probable que la turbidité a été beaucoup plus importante lors du redémarrage de la pompe. Par conséquent, l'absence de valeurs après les fortes précipitations ne nous permet pas de déterminer l'évolution de la turbidité lors d'un épisode pluvieux intense.

**Pour le maintien d'une turbidité en dessous des valeurs seuils, un pompage continue à 80 m<sup>3</sup>/h semble le plus adapté. Au débit de 100 m<sup>3</sup>/h il semble plus délicat de maintenir un niveau bas de turbidité. Celle ci reste toutefois toujours inférieure à 2 NTU.**

### 4.3 Influence des pompages de Rondoline sur les forages de la Foux

Les chroniques piézométriques et de fonctionnement des pompages la Foux ont été fournies par l'exploitant.

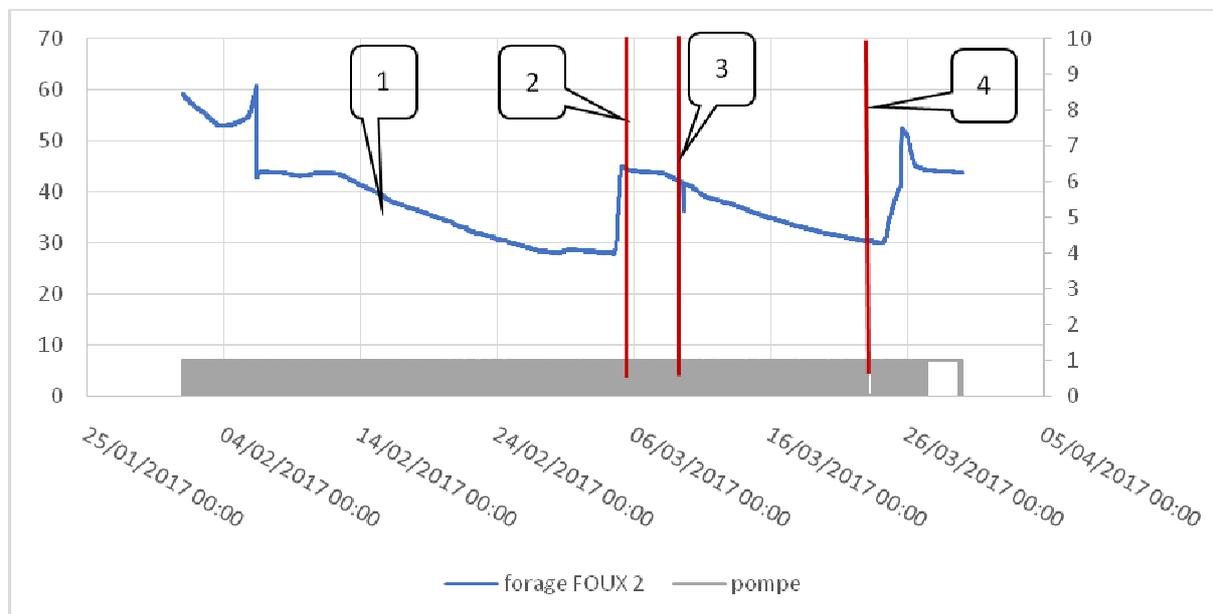


Figure 8: Piézométrie de la Foux

**Commentaires et interprétation** : Pendant le mois de Février, aucun pompage n'avait lieu au niveau du forage de Rondoline, cela permet donc d'étudier les variations de niveau « naturelle » du forage de la Foux 2. Il est alors possible d'observer une vidange linéaire du système (1) provoqué par des pompages réguliers en termes de débit et d'intervalle. A partir du 6 Mars 2017 le pompage au niveau de la Rondoline a commencé à la hauteur de 80 m<sup>3</sup>/h (2), et n'a provoqué aucune modification du niveau dans le forage de la Foux 2, pas plus que lors de l'augmentation du débit à 100 m<sup>3</sup>/h (3). Lors de l'arrêt du pompage dans Rondoline (4) le niveau dans le forage Foux 2 continue de diminuer et met en avant la vidange linéaire du système déjà observé dans la première partie (1).

**Les forages de la Foux ne sont pas influencés par le pompage de Rondoline. Il n'y a donc pas de relation apparente entre les deux zones de production**

## 5 CONCLUSION

Les différentes phases de pompages réalisées au niveau du forage de Rondoline durant le mois de Mars 2017, ont permis de confirmer sa bonne qualité de production déjà établie durant les essais de pompages réalisés, en 2016, après les travaux de foration. Ils mettent également en avant la forte réponse de l'aquifère aux épisodes pluvieux, qui augmente considérablement le niveau piézométrique et par la même occasion augmente la capacité de production de l'ouvrage.

Les valeurs de turbidités très importantes (750 NTU) durant les travaux de foration de 2016, n'ont pas été retrouvées durant le pompage de Mars 2017. Cela est dû à une sédimentation des argiles dans les conduits. Cependant, une augmentation du débit et donc une de la vitesse d'écoulement de l'eau provoque une remobilisation de ces argiles.

Avec les résultats de cette étude, nous ne recommandons de ne pas exploiter l'ouvrage de Rondoline à un débit de 100 m<sup>3</sup>/h, qui provoque un rabattement continu, avec un risque d'augmentation de la turbidité inversement proportionnelle au niveau piézométrique.

Une exploitation en continu au débit de 80 m<sup>3</sup>/h semble plus respectueuse des capacités de l'aquifère, avec un maintien de la turbidité à un niveau « raisonnable » ne nécessitant pas un traitement de ce paramètre.

Fait à Marseille le 7 juillet 2017