

Figure 10 : Courbe caractéristique du puits F - Essai octobre 2003

5.3.3 Essais par paliers Puits G 03838 X 0022/P3

Trois paliers ont été réalisés, avec un pas de temps de pompage de 2 heures. Seul le dernier palier a une durée de 2,5 h. Ces paliers ont été enchaînés afin de limiter l'effet de capacité de l'ouvrage, qui, lors du pompage longue durée sera évalué à plus de 45 minutes pour un débit de 47 m³/h.

Le premier palier a débuté avec un débit moyen de 20 m³/h, puis le débit a été augmenté graduellement.

L'évolution des niveaux d'eau dans le forage est présentée sur la figure 11.

A partir du troisième palier à 70 m³/h, l'eau s'est brouillée en se chargeant en fines et sables très fins et glauconieux, soulignant probablement un dépassement du débit critique.

20 minutes après le lancement de ce palier à 70 m³/h, la limite de cote d'aspiration des pompes est atteinte à 9,76 m de profondeur par rapport au repère. Le niveau dynamique est donc stabilisé à cette profondeur, puisque la pompe « barbotte ». Si la cote d'aspiration avait été plus basse, le niveau d'eau serait descendu à 11.2 m de profondeur en supposant que les conditions régnant en début d'essai perdure pendant 2 h (cf. figure 12).

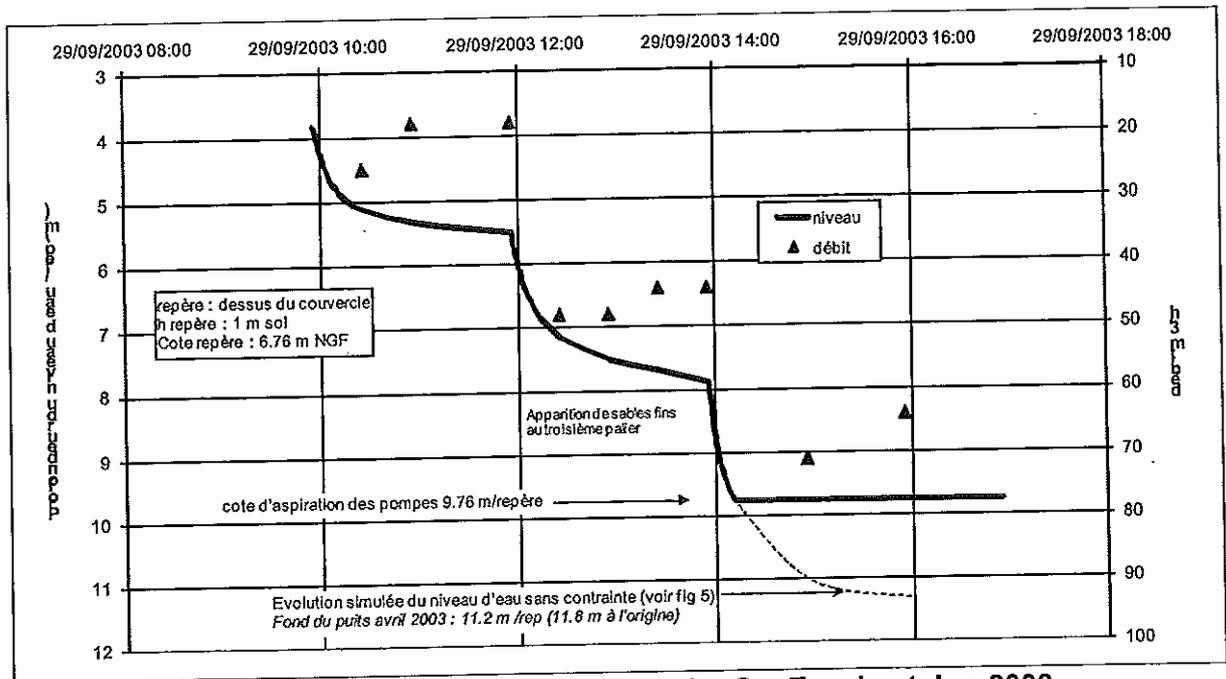


Figure 11 : Paliers enchaînés sur le puits G – Essai octobre 2003

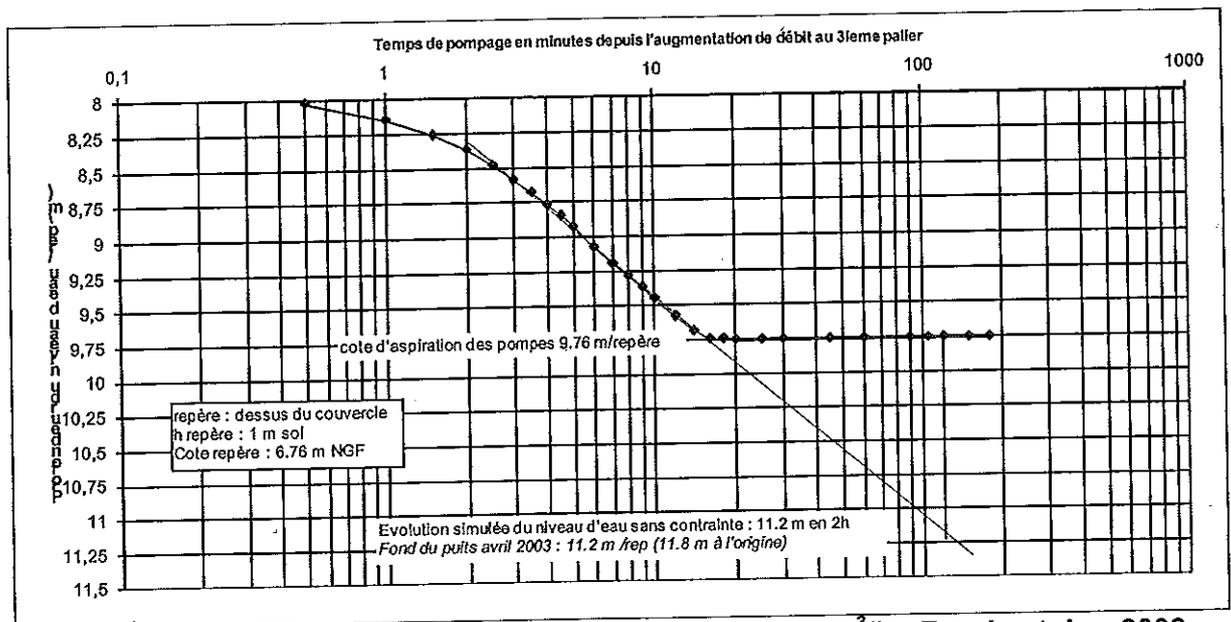


Figure 12 : Pompage par paliers sur le puits G – Palier 70 m³/h - Essai octobre 2003

Les caractéristiques de chaque palier sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°7 : Données relatives aux essais par paliers du puits G

n°	débit moyen	Durée pompage	Temps de la remontée	Ns /rep Cote rep 6,76 m	Nd/rep 2h	rabattement à 2h (m)	Q/s à 2h m ³ /h/m
1	20	2 h	2 h	3.84	5.5	1.66	12.05
2	48	2 h	2 h	3.84	7.88	4.04	11.88
3	70	2 h	2 h	3.84	11.2 *	7.36*	9.51*
LD	47	2 h	-	3.4	7.23	3.83	12.01

LD = longue durée pris à 2h * = valeur extrapolée du troisième palier

Compte tenu de l'incertitude sur le troisième palier, il n'est pas possible de calculer avec fiabilité l'équation de la courbe caractéristique du puits G (cf. figure 13). Le niveau théorique atteint en fin du 3^{ème} palier induit une nette inflexion de la courbe traduisant un dépassement du débit critique. Sous toute réserve, ce débit critique se situe graphiquement autour de 45 à 50 m³/h.

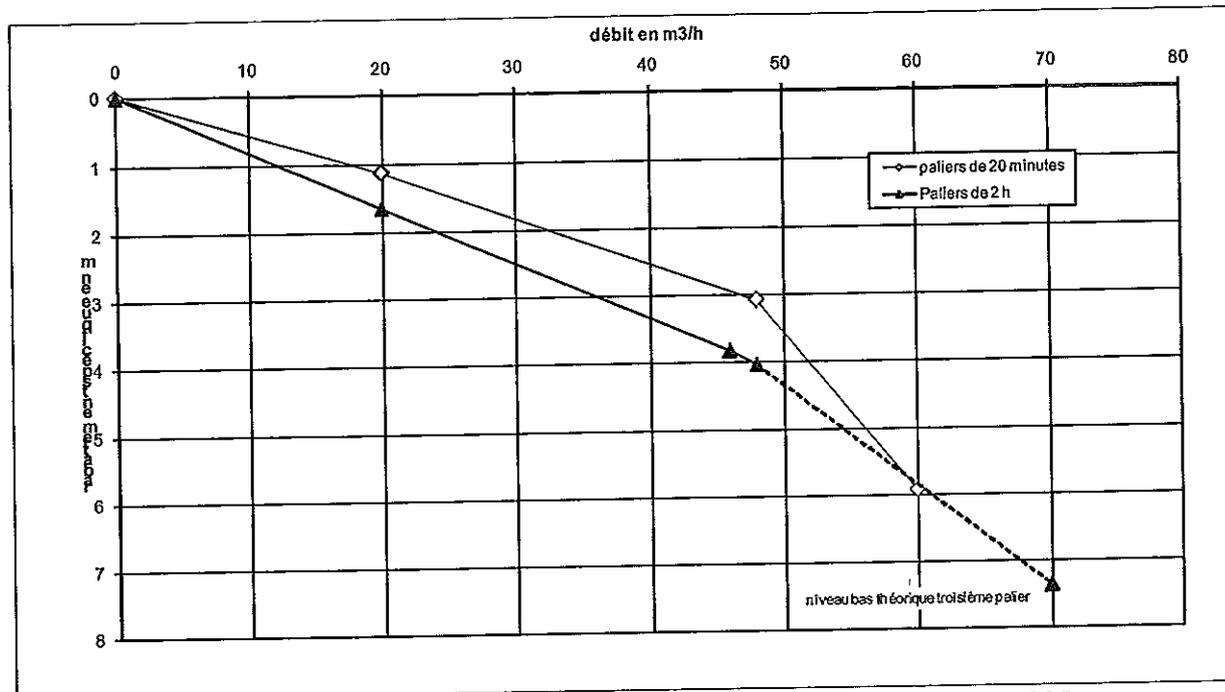


Figure 13 : Courbe caractéristique du puits G - Essai octobre 2003

Cet essai de pompage a permis aux fontainiers de Port-Louis de nettoyer, pour la première fois, le réservoir créé en 1976. Une grande quantité de sables très fins et glauconieux s'y était déposée.

A priori, les ouvrages anciens et actuels ont toujours pompé un peu de ces sables « indésirables ».

Ainsi le 29 avril 2003, un choc de turbidité a motivé l'intervention de la DDASS pour une série d'analyse sur l'eau distribuée. Selon la DDASS, l'analyse du 2 mai 2003 ne révèle aucun problème particulier, hormis une turbidité entre 4 et 5 NTU sur le puits et sur le réservoir. Aucune pollution bactériologique n'accompagne cet épisode turbide. Les matières en suspension sont de 6 mg/l et le fer ne dépasse pas 116 µg/l pour une conductivité de 680 µS/cm. La DDASS a demandé une vidange du château d'eau.

Selon le fontainier, il y aurait eu le 5/5/2003 un second épisode turbide, de moindre ampleur (3.1 NTU sur le réservoir et 5 sur le puits – DDASS56).

Le 15/5/2003 tout est déjà rentré dans l'ordre, avec une turbidité inférieure au seuil de détection (<0.5 NTU).

Les phénomènes se sont résorbés naturellement, sans modification du régime d'exploitation.

L'origine de ces bouffées épisodiques de turbidité est en partie due à la profondeur insuffisante du puits G, qui s'arrête juste au toit des sables grossiers inférieurs, au contact des sables fins glauconieux.

L'apparition de turbidité s'expliquerait alors :

- soit par écoulement turbulent avec entraînement de fines en cas de dépassement du débit critique (comme lors du troisième palier en octobre 2003). Au débit d'exploitation normale de 32 m³/h, ce débit critique n'est pas dépassé ;

- soit par cavitation / éboulement / réarrangement des grains dans l'aquifère ;
- soit par décolmatage autour du puits G avec entraînement des fines.

Il faut donc impérativement éviter de dépasser le débit critique, voire éventuellement d'équiper le puits de pompe à variateur de débits pour limiter les chocs hydrauliques au démarrage des pompes.

5.3.4 Pompage longue durée du Puits G

• Caractéristiques du pompage

Les caractéristiques hydrauliques ont conduit à démarrer le pompage à un débit inférieur au débit critique de 50 m³/h.

Le pompage longue durée a été réalisé sur le puits G avec les caractéristiques ci-dessous.

- Pompe d'exploitation en place, mais déconnectée du réseau, aspiration à 8.76 m/sol
- Refoulement par 150 m de tuyau rigide dans le ruisseau au SE
- Q moyen = 47 m³/h
- Niveau statique = 3,4 m/repère, soit à une cote de 3,36 m NGF.
- Durée 144 heures (6 jours) – Début 30/09/2003 8h - Fin 6/10/2003 à 8h
- Rabattement maximal : 5,05 m (niveau dynamique 8.45 m)
- Débit spécifique à 144 h : 9,3 m³/h/m
- Remontée suivie manuellement pendant 12 heures
- Centrale d'acquisition automatique sur le piézomètre Pz15 distant de 15 m

Le pompage débute dans un contexte de basses eaux, à la fin d'un étiage sévère (cf. figure 14). La recharge de l'aquifère est amorcée en début d'essai avec 46 mm relevés en 3 jours à la station météo de Lorient du 30/9 au 2/10/2003.

Les 3 derniers jours de l'essai de pompage sont nettement moins arrosés avec moins de 3 mm cumulés entre le 3 et le 6/10/2003.

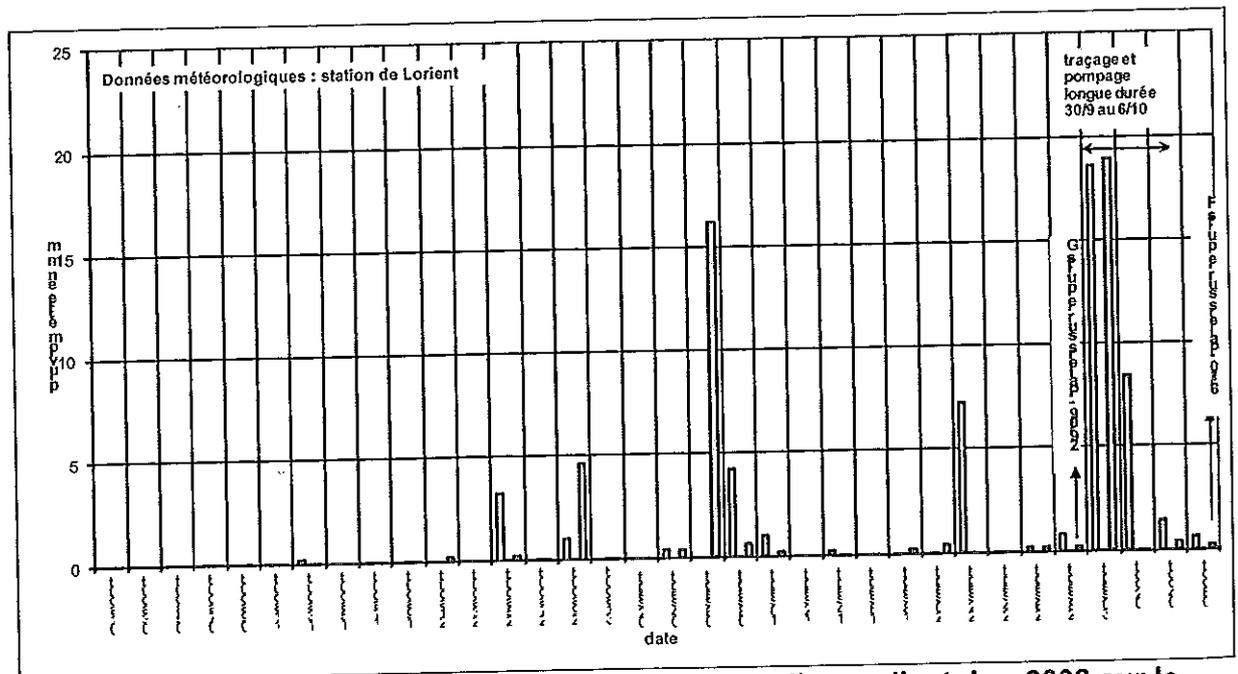


Figure 14 : Pluviométrie pendant les essais hydrauliques d'octobre 2003 sur le captage de Pont Ar Roch

• Etude de la descente

L'évolution des niveaux sur le puits AEP durant tout l'essai est reportée sur la figure 15. La figure 16 montre que les piézomètres autour du puits G ont réagi rapidement, avec une baisse observée sur tous les points dès la première mesure manuelle (comprise entre 11 et 22 minutes après le démarrage du pompage). Le piézomètre Pz15 suivi en continu par une centrale accuse une baisse de 2 cm 1 minute après le démarrage du pompage.

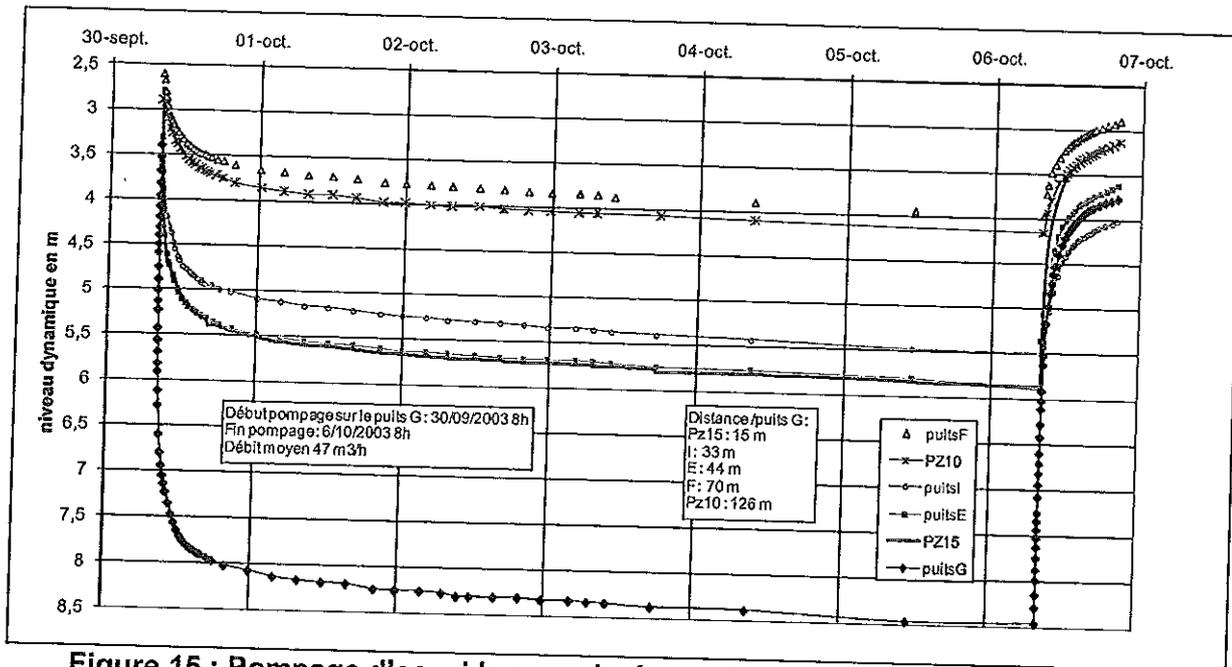


Figure 15 : Pompage d'essai longue durée sur le puits G – Essai octobre 2003

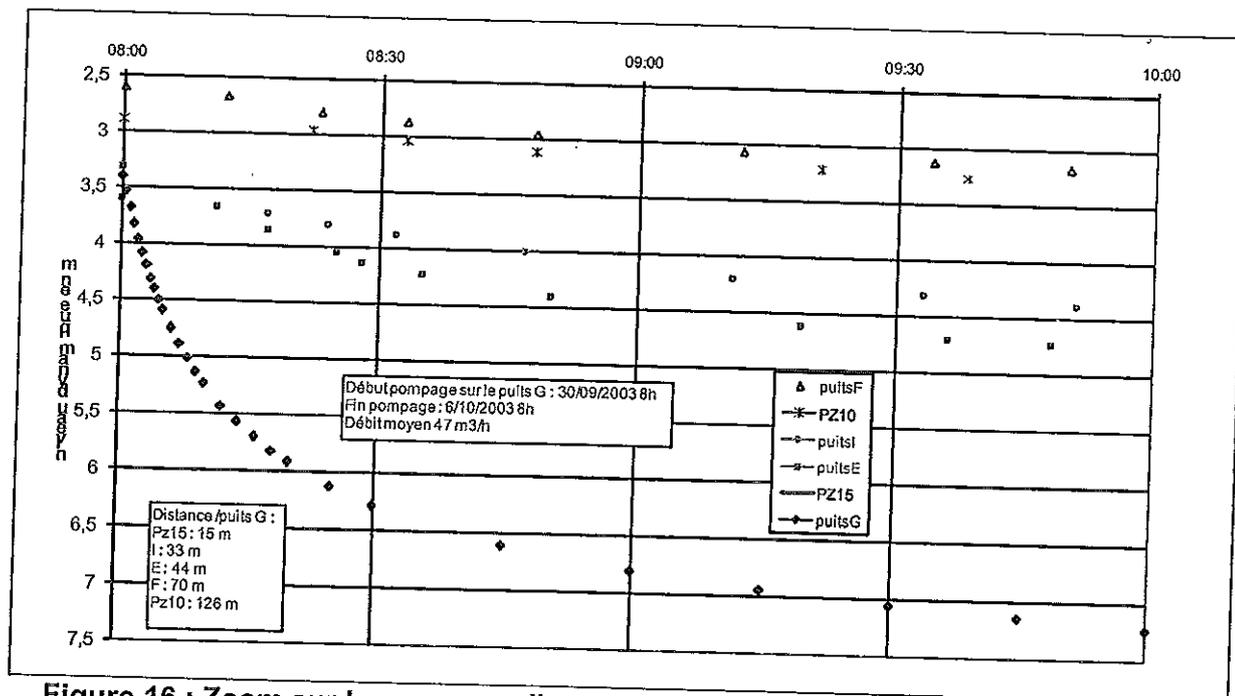


Figure 16 : Zoom sur le pompage d'essai longue durée sur le puits G – 30/09/2003

On observe une certaine anisotropie de l'aquifère, avec une influence maximale du pompage dans l'axe N-S (Puits G – E – Pz10). Le piézomètre Pz10 varie quasiment autant (rabattement total 1.26 m) que le puits F (s total 1.37 m) situé 2 fois plus près du puits G.

En reportant les rabattements des différents piézomètres par rapport en fonction du logarithme de la distance au puits G, on obtient l'allure du cône de rabattement (cf. figure 17). Les piézomètres Pz15 – I et F sont utilisés pour décrire le rabattement dans un axe EW ; et les piézomètres E et pz10 pour l'axe NS.

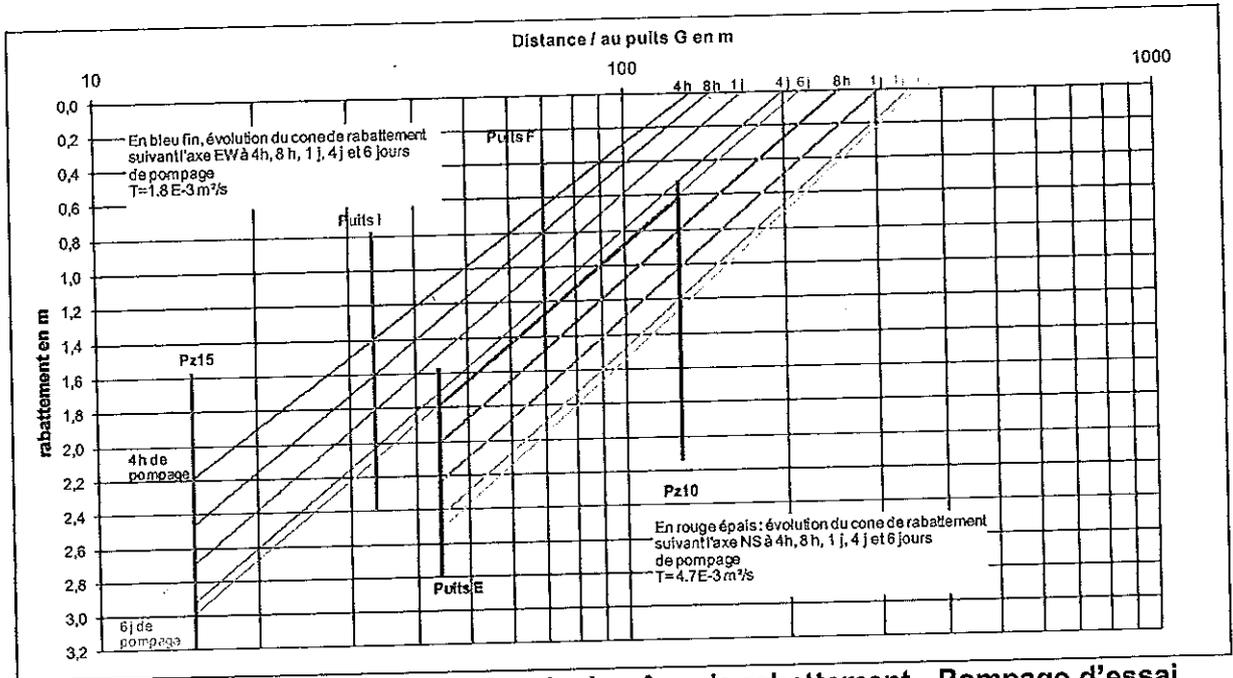


Figure 17 : Extension et anisotropie du cône de rabattement - Pompage d'essai longue durée sur le puits G

Le graphique permet de visualiser directement l'extension du cône de rabattement (intersection des droites avec l'axe des abscisses). Ces cônes de rabattement sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau n°8 : Extension du cône de rabattement selon les directions

Temps de pompage	Axe EW	Axe NS
4 heures	134 m	220 m
8 heures	145 m	254 m
1 jour	167 m	304 m
4 jours	200 m	349 m
6 jours	217 m	361 m

En 4 h de pompage, le rabattement est aussi développé dans l'axe NS qu'en 6 jours dans l'axe EW. Les pentes des droites donnent en revanche une **transmissivité** assez proche comprise entre $1.8 \text{ à } 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

En coordonnées semi-logarithmiques, la courbe du puits G présente deux pentes distinctes au-delà de l'effet de capacité du puits (estimé à plus de 60 minutes – cf. figure 18). Cette augmentation de la transmissivité, qui s'observe également sur les piézomètres, signifie soit que :

- le cône de rabattement a atteint des faciès plus transmissifs latéralement (aquifère plus épais, ou sables plus perméables). Les résultats des sondages indiquent effectivement des variations latérales de faciès, mais qui vont plutôt dans l'autre sens, c'est à dire une disparition des sables grossiers au profit de faciès plus argileux.

- l'aquifère des sables grossiers est réalimenté par drainance verticale. Il s'agit *a priori* de l'hypothèse la plus vraisemblable.

Les paramètres hydrodynamiques calculés sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau n°9 : Paramètres hydrodynamiques déduits du pompage d'essai sur le puits G

X 10-3	T1 m ² /s	S	T2 m ² /s	Distance / G /m
puits G	1.8		6	0
Pz15	2.7	1.1	6.8	15
Puits E	3.4	0.17	6.8	44
Puits I	3.6	2	5.3	33
Puits F	5.3	0.59	7.5	70
Pz10	6	0.2	7.5	126
<i>Pz11</i>	<i>T=7</i>	<i>S=0.5</i>		303
<i>Pz8</i>	<i>T=10</i>	<i>S=4.5</i>		185

En italique : calculs des paramètres sur un suivi restreint de la descente

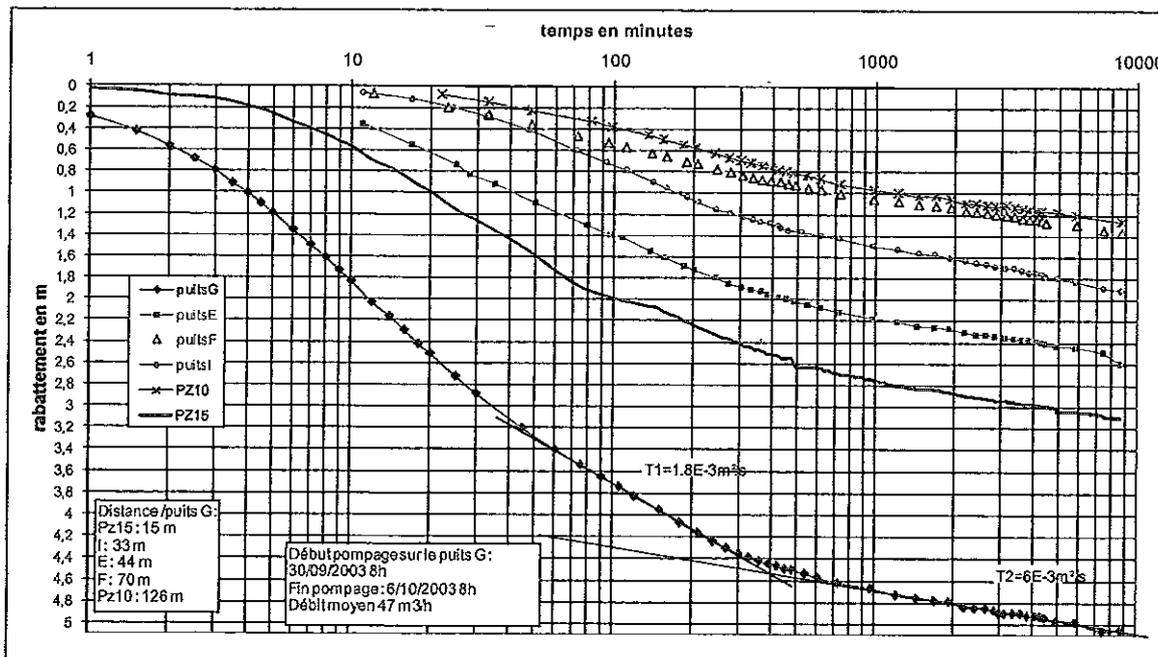


Figure 18 : Pompage longue durée sur le puits G : Courbe de descente

• **Étude de la remontée**

La remontée est suivie sur 8 heures au bout desquels le niveau statique (non stabilisé) atteint 3,77 m par rapport au repère, soit 37 cm en dessous du niveau statique de début de pompage sur le puits G (cf. figure 19).

Sur les piézomètres, 8 h de remontées laissent un rabattement résiduel compris entre 24 cm (pz10) et 41 cm (puits I).

La transmissivité finale est assez homogène sur les ouvrages avec 3 à 4 x 10 – 3 m²/s.

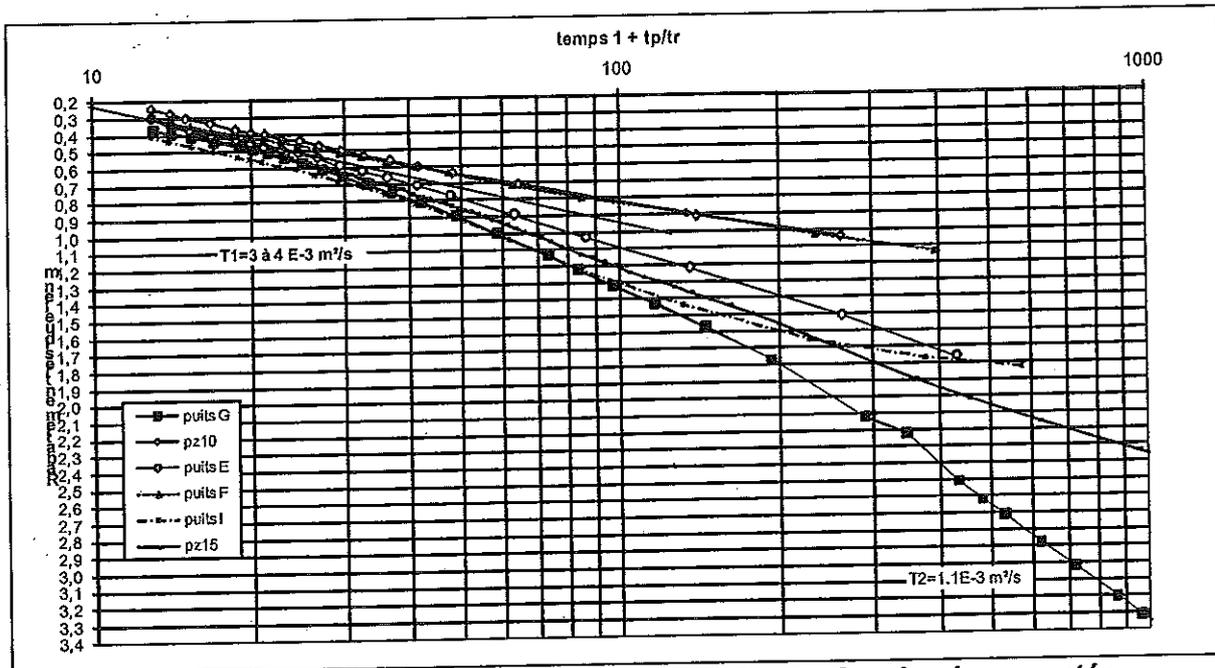


Figure 19 : Pompage longue durée sur le puits G : Courbe de remontée

5.4 PIEZOMETRIES

5.4.1 Piézométrie au repos de basses eaux

La piézométrie au repos (avant pompage) est marquée par un faible gradient hydraulique de 0,7% (cf. carte 3). Du Nord au Sud, la cote piézométrique varie de 9,66 m NGF en Pz4 à 2,38 m NGF en Pz9 sur 1,1 km linéaire. La nappe s'écoule du Nord vers le Sud, drainée par une structure orientée NS coïncidant avec le tracé du ruisseau.

Les isopièzes sont quasi parallèles au Nord puis elles s'incurvent vers le Sud.

Dans la partie septentrionale, entre Kervihan, Kerostin et la Russie, les courbes topographiques sont d'orientation Ouest-Est. Elles soulignent un talus au pied duquel se développe une zone de marais (petites sources de déversement de l'aquifère superficiel). Celle-ci s'explique par l'affleurement de la surface piézométrique.

Dans la partie plus méridionale, les isopièzes convergent vers un axe de drainance globalement Nord-Sud, superposé au petit ruisseau d'orientation NNE-SSW qui naît dans le marais et se jette en mer via l'anse des Gâvres Ce ruisseau constitue donc l'exutoire de l'aquifère superficiel.

Par ailleurs, la mesure obtenue au puits Z est anormalement basse comparée à celles mesurées à proximité (3,11 m NGF au puits Z et 3,39 en Pz15). Ceci résulte probablement d'un colmatage de l'ouvrage.

5.4.2 Piézométrie en pompage

La piézométrie a été suivie lors du pompage d'essai longue durée d'octobre 2003.

Après 3 jours de pompage à 47 m³/h, la piézométrie montre la formation d'un cône de rabattement étendu dans un axe NE – SW (cf. carte 4). La limite d'extension de la zone d'appel en amont du puits en pompage correspond peu ou prou à l'isopièze 6 m NGF, soit environ 300 m.

Le cône de rabattement s'étend en rive gauche du ruisseau. Le ruisseau semble déconnecté de l'aquifère principal.

La piézométrie après 6 jours de pompage ne modifie pas significativement l'allure de la piézométrie (cf. carte 5). L'extension de la zone d'appel se situe entre les isopièzes 6 et 7 m NGF, soit 350 m amont du puits G.

Le tableau suivant résume les rabattements maximaux observés sur les différents ouvrages :

Tableau n°10 : Rabattements maximaux observés sur chacun des ouvrages

	Puits G	Pz15	Puits E	Puits I	Puits F	Pz11	Pz10	Pz8	Pz7	Pz9	Pz3
S max	5.06	3.098	2.59	1.9	1.37	1.33	1.26	0.65	0.21	0.11	0.06
Dist./G	0	15	44	33	70	303	126	185	458	420	339

Les piézomètres Pz7 et Pz8, localisés en rive gauche du ruisseau, ont subi une baisse significative, excluant *a priori* une possibilité de réalimentation de l'aquifère capté par les eaux superficielles.

Durant toute la période de l'essai, 15 sondages piézométriques ainsi que les ouvrages d'exploitation anciens et actuels ont été relevés de manière synchrone 1 à 3 fois par jour. Ces relevés nous ont permis d'apprécier en vraie grandeur l'impact du pompage sur la nappe.

Seuls 5 piézomètres subissent une influence liée au stress hydraulique du pompage (cf. figure 20). Il s'agit des ouvrages Pz3, Pz7, Pz8, Pz9 et Pz11.

Sur les autres piézomètres, soit il n'y pas eu d'influence détectable par la fréquence du suivi, soit l'importance des pluies sur les 3 premiers jours de l'essai masque cette influence (cf. figure 21). La remontée des piézomètres Pz1, Pz2 et Pz12 est due aux précipitations. On notera que ce sont des trois ouvrages où les sables grossiers inférieurs sont absents. Les autres sont en revanche très stables. L'allure du Pz13 est pour le moins étonnante (erreurs de mesures ?).

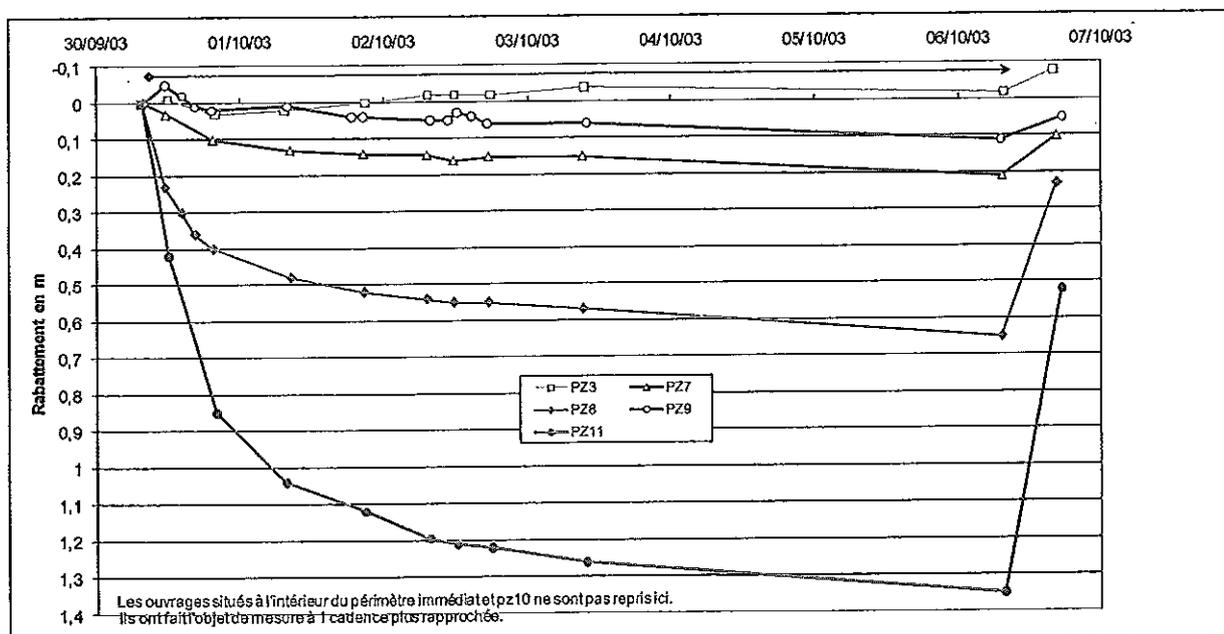


Figure 20 : Pompage longue durée sur le puits – Piézomètres influencés

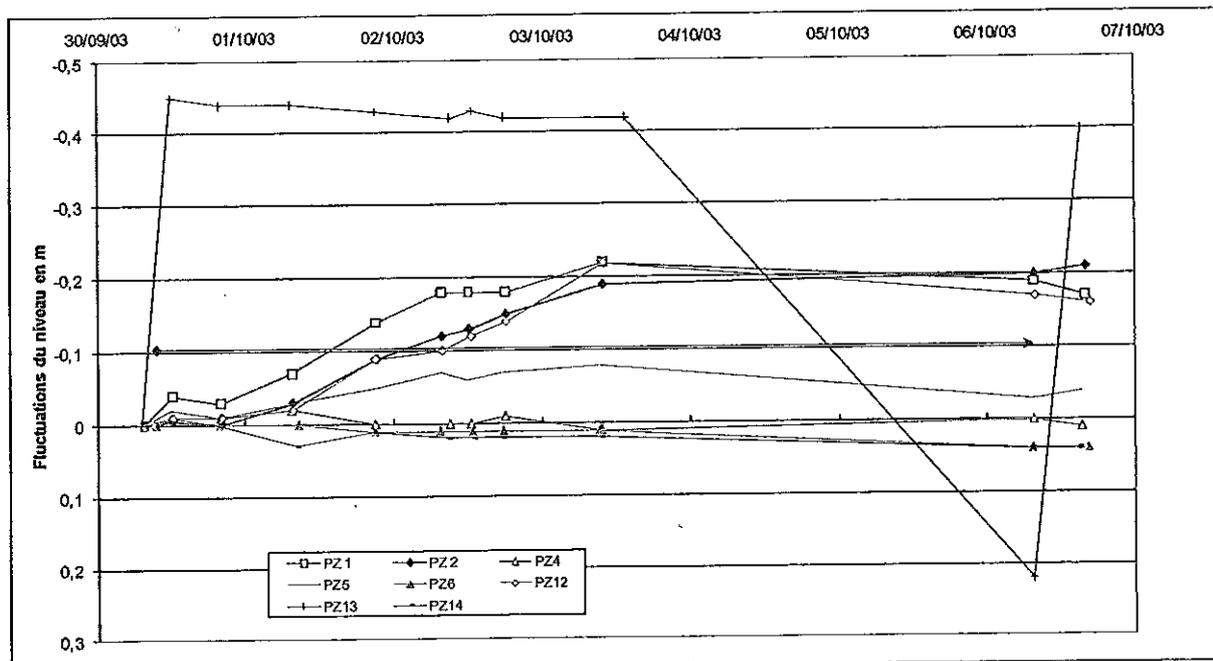


Figure 21 : Pompage longue durée sur le puits – Piézomètres non influencés

5.4.3 Piézométrie après pompage

La piézométrie 8 heures après l'arrêt du pompage est étendue à une dizaine d'ouvrages recensés aux alentours du captage (cf. carte 6).

La cote piézométrique du puits Pz16 est plus élevée que les valeurs environnantes. Cette mesure n'est pas prise en compte pour l'élaboration de la carte. Avec 3.7 m de profondeur/sol, le puits Pz16 est limité à l'aquifère superficiel dans un secteur où les prélèvements AEP entraînent une différence de potentiels entre les 2 nappes, en déprimant l'aquifère inférieur. En zone non influencée, les potentiels des 2 nappes semblent voisins.

La piézométrie conserve un cône de rabattement résiduel limité à quelques ouvrages autour du captage AEP. L'écoulement de la nappe confirme un axe de drainage centré sur le ruisseau. Ce drainage n'est pas dû au ruisseau comme explicité ci-dessus. Il correspond peut-être au modèle géologique avec un drainage de l'aquifère par les secteurs les plus épais (approfondissement du socle vers le SE avec épaissement des sables grossiers inférieurs.)

5.4.4 Piézométrie au repos en hautes eaux

Deux campagnes piézométriques ont été réalisées à la fin d'hiver 2004.

Lors de la piézométrie du 25/02/2004, les puits F et G sont exploités (cf. carte 7). La nappe est remontée de 1.1 m en moyenne par rapport aux valeurs d'octobre 2003, avec, hors zone d'influence des captages AEP, une hausse de 1.6 m. Il n'y a aucune modification des écoulements. Le piézomètre Pz5 est artésien.

5.5 SYNTHÈSE DES TESTS HYDRAULIQUES :

- Débit critique du puits G $\approx 45 \text{ } 50 \text{ m}^3/\text{h}$; depuis cet essai, le débit d'exploitation a été augmenté de 32 à 40-45 m^3/h – Débit spécifique de 12 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$

- Puits G descendu juste au sommet de l'aquifère : puits imparfait ne captant pas la hauteur des sables grossiers estimée à 5 m sous le puits G, avec pour conséquence des chocs épisodiques de turbidité liés à des désordres dans le semi perméable sus-jacent
- Débit critique du puits F $\approx 13 \text{ m}^3/\text{h}$; de la même manière que le puits G, le débit d'exploitation du puits F a été augmenté depuis les essais de pompage de 2003, de 9 à $15 \text{ m}^3/\text{h}$ - Débit spécifique de $2.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$
- Essai de pompage réalisé avec un débit supérieur au débit d'exploitation du moment : 6 jours à $47 \text{ m}^3/\text{h}$, soit 6750 m^3 .
- Transmissivité moyenne de $3 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ évoluant à $6.5 \text{ E}^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en raison d'une drainance verticale qui survient après 3 h de pompage environ – Coefficient d'emmagasinement moyen 5 à 7 E^{-4} caractérisant une nappe captive
- Aquifère anisotrope, avec une diffusivité maximale dans un axe NE – SW, conformément au modèle géologique indiquant un paléochenal ayant érodé en partie les sables grossiers inférieurs
- Extension maximale de la zone d'appel de 700 m dans l'axe NE – SW et 400 m perpendiculairement à cet axe
- Nappe semi-captive dont l'écoulement naturel se fait du Nord vers le Sud, conforme à la topographie du socle qui s'approfondit vers le Sud – Les surépaisseurs de sables grossiers assurent le drainage de la nappe
- Ruisseau *a priori* hydrauliquement déconnecté de l'aquifère capté
- 2 aquifères à potentiels voisins, sauf dans la zone d'influence où les prélèvements AEP dépriment l'aquifère inférieur

5.6 OPERATION DE TRAÇAGE

Le traçage réalisé sur le champ captant de Port Louis avait pour objectif principal de déterminer les vitesses de transit au sein de l'aquifère. L'interprétation du traçage complète également les connaissances indispensables pour définir les modalités d'intervention en cas de pollution accidentelle survenant sur le bassin d'alimentation des captages AEP.

5.6.1 Modalités d'injection du traceur

L'opération de traçage a été couplée à l'essai de pompage longue durée évoqué dans le paragraphe précédent. Voici les caractéristiques de l'injection :

Tableau n°11 : Caractéristiques de l'injection de traceur

Lieu d'injection	Pz15
Date et heure	30/09/2003 de 9h30 à 9h32
Masse de traceur employée	1,9 kg de KI (soit 1,45 kg de Iodures)
Chasse du traceur	Chasse de 9h32 à 9h43 à $0.7 \text{ m}^3/\text{h}$, soit 133 l
Dilution initiale	145 g/l
Point de restitution	Puits G situé à 15 m
Conditions hydrodynamiques	Radial convergent
Début pompage	30/09/03 à 8 h00
Débit moyen	$47 \text{ m}^3/\text{h}$
Rabattement observé sur piézomètre avant injection	1,86 m
Suivi de la restitution	Préleveur automatique ISCO
Fréquence des prélèvements	De 1/4 h à 3h
Durée du suivi	142,5 h