

## CHAPITRE V

### ETUDE DU REMPLISSAGE ET DEBIT DU PUISARD

Ce chapitre est consacré à la partie expérimentale effectuée au niveau du puisard . Des études sont faites sur l'évolution de la hauteur de l'eau stockée ainsi que du débit .

#### V-1 CADRE DE TRAVAIL

Les expériences ont duré plusieurs mois , il a donc fallu créer un cadre de travail agréable et assurer des conditions expérimentales optimales . C'est ainsi que le puisard , occupant une partie de la propriété , est placé à l'intérieur d'un petit chapiteau pour :

- éviter que les eaux de pluie et les gelées matinales ne viennent modifier le volume d'eau .
- amoindrir autant que possible l'effet du vent sur le système de prise de mesures .
- empêcher l'évaporation de l'eau exposée au soleil

#### V-2 MATERIELS UTILISES

- Un bécher de 250ml pour récupérer l'eau sortant de la conduite cylindrique d'évacuation .
- Une éprouvette de 150 ml graduée pour la mesure du volume d'eau .
- Un chronomètre
- Une pendule
- Une torche pour les mesures de nuit .
- Un flotteur en polystyrène où est implantée une tige métallique légère munie d'un stylet .

- Une règle graduée pour la mesure de la hauteur de l'eau .
- Un seau de 15 l pour vider le puisard ( Photo 2 ).



*Photo 2a : Matériels*

*Photo 2b : Flotteur et règle graduée*

*Photo 2 : Vue d'ensemble des matériels utilisés*

## **V-3 ETUDE DE LA VARIATION DE LA HAUTEUR DE L'EAU**

Le mois de Septembre 2004 a été choisi pour faire les expériences sur la variation du niveau de l'eau dans le puisard . C'est un mois de transition entre la fin de la saison sèche et le début de la saison des pluies .

Les expériences ont été effectuées huit fois à intervalle de quatre jours . Elles commencent par le vidage des  $0,4\text{m}^3$  (400 l) d'eau du puisard par un seau de  $15 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$  (15 l) . C'est une opération délicate qui dure en moyenne 15 mn . Une certaine quantité d'eau , considérée comme volume initial , reste

toujours au fond du puisard entre les gravillons. Elle ne fausse pas les résultats. On s'arrange également pour que toutes les mesures débutent au même moment à 9 h du matin. Elles sont prises toutes les 30mn sinon les variations du niveau de l'eau ne sont pas appréciables.

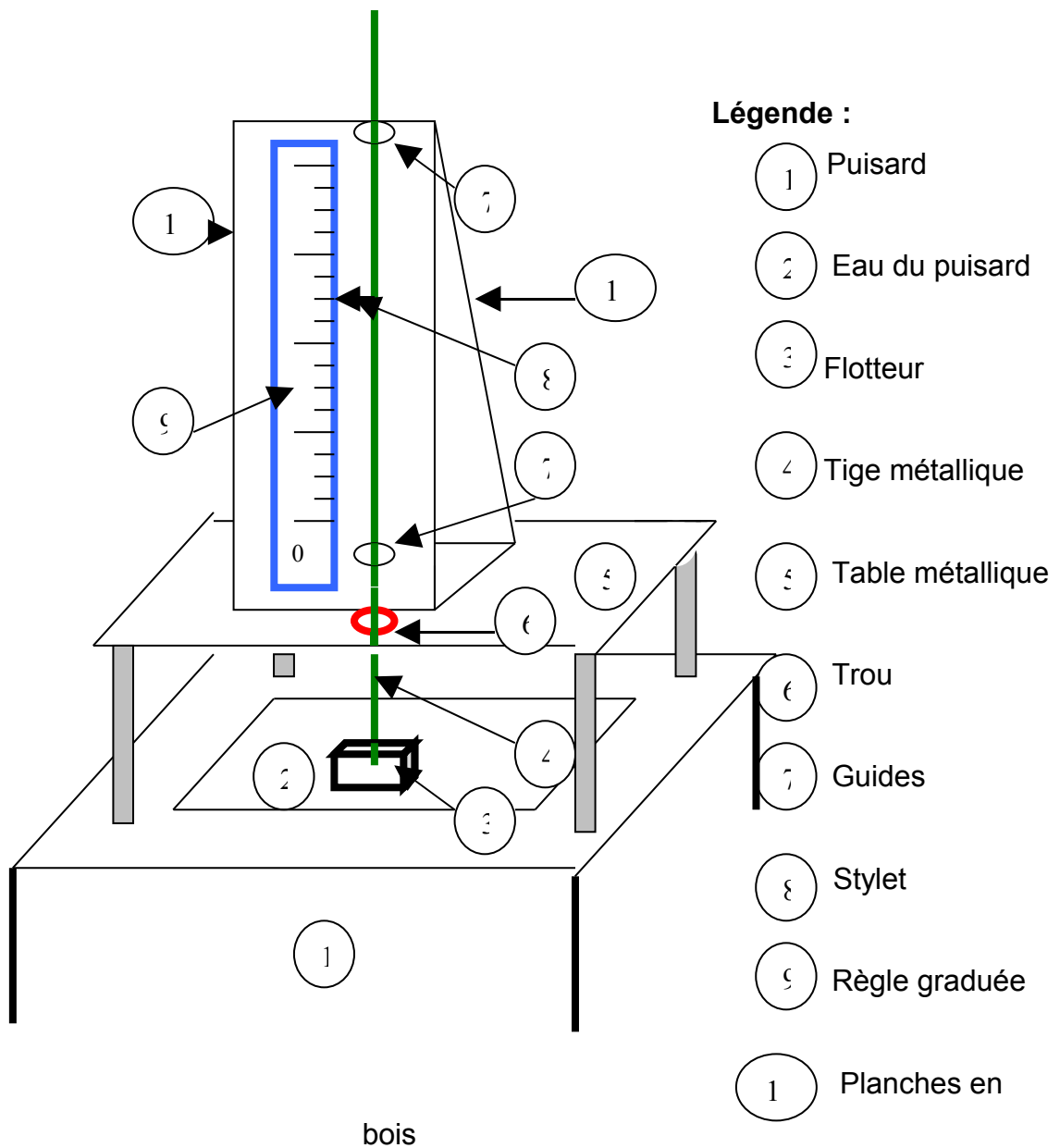
### V-3.1 Principe du système de prise de mesure

La difficulté de faire la lecture d'une règle graduée immergée dans l'eau à 0,75m du sol nous oblige à concevoir un petit montage de mesures. Il consiste à rapporter à l'extérieur du puisard la variation de la hauteur de l'eau par l'intermédiaire d'un flotteur en polystyrène de forme parallélépipédique, dont :

- longueur : 0,20 m
- largeur : 0,10 m
- hauteur : 0,10 m

surmonté d'une tige métallique légère de 1,50 m munie d'un stylet dont la masse de l'ensemble est de  $95 \cdot 10^{-3}$  kg (95 g) .

Pour toutes les mesures, la côte 0 correspond à un certain volume initial préalablement fixé. Le puisard est de grande dimension (Paragraphe III-1) par rapport au flotteur. La poussée d'Archimède est négligeable pour le volume et le poids du polystyrène . La tige coulisse verticalement sans frottement entre deux guides ( Figure 20 ) et le stylet indique la hauteur de l'eau dans le puisard.



**Figure 20** : Schéma de principe du système de mesure

### V-3.2 Etude du remplissage du puisard

Le Tableau 5 donne l'évolution de la hauteur de l'eau dans le puisard en fonction du temps. Les prises de mesures s'arrêtent lorsque les valeurs restent constantes pendant 60 mn au moins.

**Tableau 5 : Hauteur de l'eau en fonction du temps**  
**Septembre 2004**

Date	02	06	10	14	18	22	26	30	Moyenne
Hauteur	$h_{02}$	$h_{06}$	$h_{10}$	$h_{14}$	$h_{18}$	$h_{22}$	$h_{26}$	$h_{30}$	$h_m$
Temps (mn)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
30	13,7	14,7	14,2	14,4	14,3	14,3	14,2	14,3	14,3
60	24,2	24,5	23,0	24,0	24,2	24,0	24,0	24,4	24,0
90	31,5	31,7	33,8	32,7	32,4	32,1	32,0	33,0	32,4
120	38,2	38,0	38,1	37,9	38,3	38,0	38,0	39,0	38,2
150	42,5	42,5	43,5	43,7	43,2	43,1	43,2	44,1	43,2
180	46,7	46,0	45,7	45,0	46,8	46,9	46,9	47,4	46,4
210	49,0	49,0	48,3	49,2	49,5	50,0	49,5	50,0	49,3
240	51,0	51,0	51,0	51,5	51,5	52,1	51,9	52,0	51,5
270	53,0	52,5	52,5	53,0	52,5	53,0	53,2	53,0	52,8
300	55,0	53,1	53,7	54,0	54,0	53,7	54,5	54,4	54,0
330	56,0	54,0	53,7	54,8	55,0	55,0	55,2	55,3	54,9
360	57,3	54,5	53,7	55,1	55,5	56,0	56,0	56,1	55,5
390	57,3	55,0	53,7	55,9	56,0	56,5	57,0	57,0	56,0
420	57,3	55,5	53,7	55,9	56,2	56,5	57,5	57,2	56,2
450	57,3	55,9	53,7	55,9	56,2	57,0	57,5	57,5	56,4
480	57,3	55,9	53,7	55,9	57,0	57,3	57,5	57,9	56,6
510	57,3	55,9	53,7	55,9	57,0	57,5	58,0	58,0	56,7
540	57,3	55,9	53,7	55,9	57,0	57,5	58,0	58,0	56,7

Les unités de  $h_{0i}$  (  $i=2$  à 30 ) sont ici exprimées en centimètre ( cm ) pour faciliter la compréhension de la variation de la hauteur . Pour avoir  $h_{0i}$  dans le système SI , il suffit de les multiplier par  $10^{-2}$  .

Les données météorologiques sur la hauteur de pluie sont fournies par l'Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo (IOGA). Elles sont d'une importance capitale pour deux raisons :

- l'interprétation des résultats
- la vérification de l'existence d'un microclimat sur Antsahameva sachant que l'IOGA ne se trouve qu'à 825 m de ce site.

Pour mener à bien toutes les études, une attention particulière est portée sur le début et la fin de la pluie chaque fois qu'elle se présente. Le Tableau 6 qui suit, donnant la hauteur maximale  $h_{max}$  de l'eau et la hauteur de pluie est complémentaire au Tableau 5.

Les mêmes remarques formulées précédemment pour le Tableau 5 sont aussi utilisées pour tous les tableaux qui suivent .

On précise également que la hauteur de pluie est exprimée en millimètre ( mm ) pour ne pas trahir la convention utilisée en météorologie .

La durée des prises de mesures est la minute ( mn ) au lieu de la seconde (s). Si une telle unité était utilisée , toutes les valeurs devraient être multipliées par 60 , ce qui donnerait des nombres difficiles à interpréter .

**Tableau 6 : Hauteur maximale  $h_{max}$  et hauteur de pluie  
Septembre 2004**

Date	Hauteur maximale $h_{max}$ (cm)	Durée (mn)	Variation $\Delta h_{max}$ (cm)	Hauteur de pluie (mm)	Pluie observée	
					IOGA	Site
1	-	-	-	1,6	X	-
2	57,3	360	0,0	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	55,9	450	-1,4	-	-	-
7	-	-	-	2,0	X	-
8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	20h40mn-21h15mn
10	53,7	300	-2,2	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-
14	55,9	390	+2,2	-	-	-

15	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-
18	57	480	+1,1	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
22	57,5	510	+0,5	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	58	510	+0,5	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	2,1	X	19h-22h30mn
30	58	510	0,0	0,2	X	-

X Oui

- Convention utilisée - Non
- Hauteur totale de pluie : 5,9mm
- Nombre de jours de pluie : 4
- Observation : 4 précipitations observées à l'IOGA et 2 sur le site  
IOGA : Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo

Ce Tableau donne des précisions sur la pluie observée au niveau de l' IOGA et du site où se trouvent la nappe aquifère et le puisard . La pluie peut tomber sur les deux lieux en même temps ou sur un seul uniquement . Cette remarque préliminaire admet une importance particulière pour la compréhension des valeurs consignées dans les Tableaux 5 et 6 . Pour faire les analyses , on doit avoir l'aide, du temps maximum correspondant à la hauteur maximale  $h_{\max}$  et de la pression hydrostatique .

### V-3.2a –Utilisation de la hauteur maximale $h_{\max}$

La pluie du 1<sup>er</sup> Septembre , observée seulement au niveau de l' IOGA n'a pas eu d'impact sur la réserve d'eau de la nappe aquifère . En effet , quatre jours plus tard , contrairement à ce que l'on attendait ,  $h_{\max}$  obtenue le 6 Septembre a diminué ,

$\Delta h_{\max} = - 1,4$  cm du 2 Septembre jusqu'au 8 du mois , le site n'est pas alimenté en eau de pluie , si bien que le 10 Septembre on enregistre une variation  $\Delta h_{\max} = - 2,2$  cm correspondant à  $h_{\max} = 53,7$  cm .

Le résultat de la troisième journée d'expérience montre que  $h_{\max}$  continue sa décroissance,  $\Delta h_{\max} = -2,2$  cm. Le 9 Septembre au soir, de 20h 40mn à 21h 15mn, de la pluie tombe pour la première fois et uniquement sur le site. La nappe aquifère est alors approvisionnée pendant 35 mn. Il en résulte que cinq jours plus tard, le 14 septembre,  $\Delta h_{\max} = +2,2$  cm. La hauteur maximale  $h_{\max}$  passe de 53,7 cm à 58 cm le 26 Septembre. L'effet de la pluie a duré 17 jours. Ce phénomène peut être interprété facilement en ce sens qu'initialement le sol est encore sec et poussiéreux après la longue saison sèche. Les interstices laissés entre les constituants physiques du sol sont remplis d'air, forment un coussin et s'opposent à la pénétration de l'eau. Il faut alors beaucoup de temps pour que l'infiltration arrive au niveau de la nappe aquifère. C'est la raison de la lente variation de l'augmentation du niveau de l'eau dans le puisard.

La végétation et la densité de la population se trouvant sur les hauteurs et le périmètre limitant le site ont également une importance sur les analyses effectuées. Elles peuvent influencer implicitement l'alimentation en eau de la nappe. La végétation peut jouer un rôle de tapis protecteur contre le ruissellement, elle favorise la pénétration de l'eau dans le sol par infiltration. Les maisons d'habitation, par contre, diminuent les surfaces disponibles pour les eaux pluviales mais favorisent le ruissellement. Nous pouvons alors supposer que, dans le cadre de notre étude, les effets de la végétation et de la densité des maisons d'habitation se compensent.

Comme la nappe n'est plus ré alimentée depuis le 10 Septembre, on constate que  $\Delta h_{\max}$  diminue progressivement jusqu'à s'annuler complètement à la fin du mois.



La nappe aquifère et le puisard doivent donc constituer un ensemble de vases communicants pour admettre l'état d'équilibre hydrostatique caractérisé par  $\Delta h_{\max} = 0$  le 30 Septembre 2004 ( Tableau 6 ) .

### V-3.2b- Utilisation du temps maximum

Lorsque la nappe aquifère est alimentée en eau de pluie , son niveau ( Paragraphe I-3.1) augmente . Elle acquiert de l'énergie potentielle qui est une des causes de l'écoulement dans les conduits souterrains desservant le puisard . Quand la quantité d'eau emmagasinée par la nappe est importante , il ne faut que 390 mn pour produire dans le puisard  $\Delta h_{\max} = +2,2$  cm (Tableau 6 ) . Quatre jours plus tard , le 18 Septembre , la nappe a libéré une partie de son énergie . Beaucoup plus de temps sont nécessaires , 480 mn pour produire  $\Delta h_{\max} = +1,1$  cm .

Le 22 Septembre , quatre jours plus tard , il a fallu 510 mn pour avoir  $\Delta h_{\max} = +0,5$  cm . La vitesse de remplissage du puisard est alors très faible . L'état d'équilibre des vases communicants tend à être atteint . L'énergie potentielle de la nappe aquifère devient faible .

Les 26 et 30 septembre , les hauteurs maximales  $h_{\max}$  sont identiques . La nappe aquifère et le puisard sont dans un état d'équilibre hydrostatique . Aucune énergie n'est disponible pour faire circuler un excès d'eau , c'est pourquoi  $\Delta h_{\max} = 0$  . La pluie du 29 Septembre n'a pas encore d'influence sur la nappe le 30 Septembre à cause du temps d'infiltration .

Le vidage du puisard ne peut être effectué indéfiniment à cause du mécontentement des voisins par l'évacuation des 400 l d'eau . On s'est donc contenté de suivre régulièrement tous les jours à 18 h les hauteurs maximales  $h_{\max}$  de l'eau du puisard . Elles augmentent progressivement du premier au dernier jour du mois d'Octobre et de Novembre ainsi que pour les six premiers jours de Décembre ( Tableaux 7 , 8 et 9 ) .

**Tableau 7 : Evolution de la hauteur maximale  $h_{max}$** **Octobre 2004**

Date	Hauteur maximale puisard(cm)	Hauteur de pluie(mm)	Pluie observée	
			IOGA	Site
1	60,0	0,1	X	-
2	60,0	-	-	la nuit
3	60,5	-	-	-
4	60,5	-	-	-
5	60,0	-	-	-
6	61,0	-	-	-
7	61,5	-	-	-
8	62,0	-	-	-
9	62,0	-	-	-
10	62,0	-	-	-
11	62,0	-	-	-
12	62,0	-	-	-
13	62,0	2,3	X	la nuit
14	63,0	-	-	-
15	63,0	-	-	-
16	63,0	-	-	-
17	63,0	-	-	-
18	64,0	-	-	-
19	64,0	-	-	-
20	64,0	-	-	-
21	64,0	-	-	-
22	64,0	-	-	-
23	64,0	-	-	-
24	64,0	-	-	-
25	64,5	-	-	-
26	64,5	-	-	-
27	65,0	-	-	-
28	65,0	-	-	-
29	65,0	-	-	-
30	65,0	1,0	X	-
31	65,0	-	-	-

- Convention utilisée | x Oui  
| - Non
- Hauteur totale de pluie : 3,4 mm
- Nombre de jours de pluie : 3
- Observation : 3 précipitations observées à l'IOGA et 2 sur le site



### Décembre 2004

Date	Hauteur maximale puisard(cm)	Hauteur de pluie(mm)	Pluie observée	
			IOGA	Site
1	70,8	-	-	-
2	71,0	-	-	-
3	71,0	-	-	-
4	71,2	-	-	-
5	71,4	1,0	X	-
6	71,6	-	-	-
7	Sortie de l'eau par la bouche avaloir à 15h10 mn			

- Convention utilisée      |      x Oui  
   |      - Non
- Hauteur totale de pluie    : 1,0 mm
- Nombre de jours de pluie : 1
- Observation                    : 1 précipitation observée à l'IOGA et 0 sur le site

### V- 3. 2 c – Utilisation de la pression hydrostatique

Ces trois Tableaux peuvent être interprétés en terme de pression . En effet l'eau arrive graduellement par infiltration dans la nappe aquifère . Il en résulte qu'elle sort par une ou plusieurs fentes dont la section totale est très faible par rapport à celle de la nappe . Si l'alimentation de ce grand réservoir souterrain continue , le débit entrant devient nettement supérieur à celui qui sort par les fentes . La pression devient importante , le niveau de l'eau dans la nappe augmente . Ce qui se manifeste par une augmentation de la hauteur maximale  $h_{max}$  dans le puisard pendant les trois derniers mois de l'année 2004 . On rappelle qu'on est en présence de vases communicants

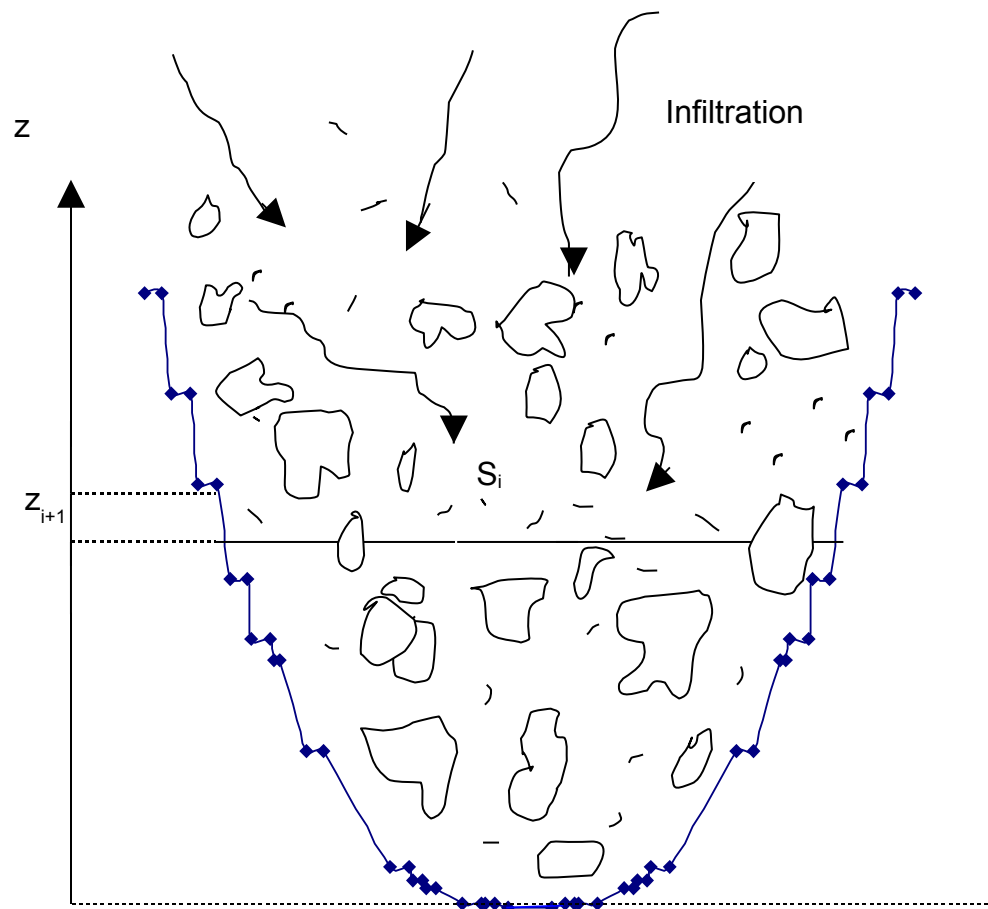
On observe également que certaines valeurs de  $h_{\max}$  sont constantes pendant plusieurs jours . Ce phénomène peut s'expliquer en imaginant que la section droite de la nappe traversée par l'eau est aussi constante pour une certaine hauteur . **Ce qui est possible si la paroi interne à ce niveau est considérée comme une portion de conduite cylindrique de révolution d'axe vertical .**

Le Tableau 10 donne une synthèse des valeurs de  $h_{\max}$  constantes observables pendant plusieurs jours d' Octobre à Novembre 2004 .

**Tableau 10 :  $h_{\max}$  constante pendant plusieurs jours  
Octobre – Novembre 2004**

$h_{\max}$ ( cm )	62,0	63,0	64,0	65,0	65,5	69,9	70,5	70,8
Durée ( j )	6	4	7	13	3	3	3	3

Ces valeurs constantes permettent de modéliser la forme de la paroi interne de la nappe aquifère . On peut envisager un grand réservoir formé par un empilement de cylindres verticaux de sections différentes séparées par des paliers horizontaux ou légèrement inclinés par rapport à l'horizontal ( Figure 21 ) .

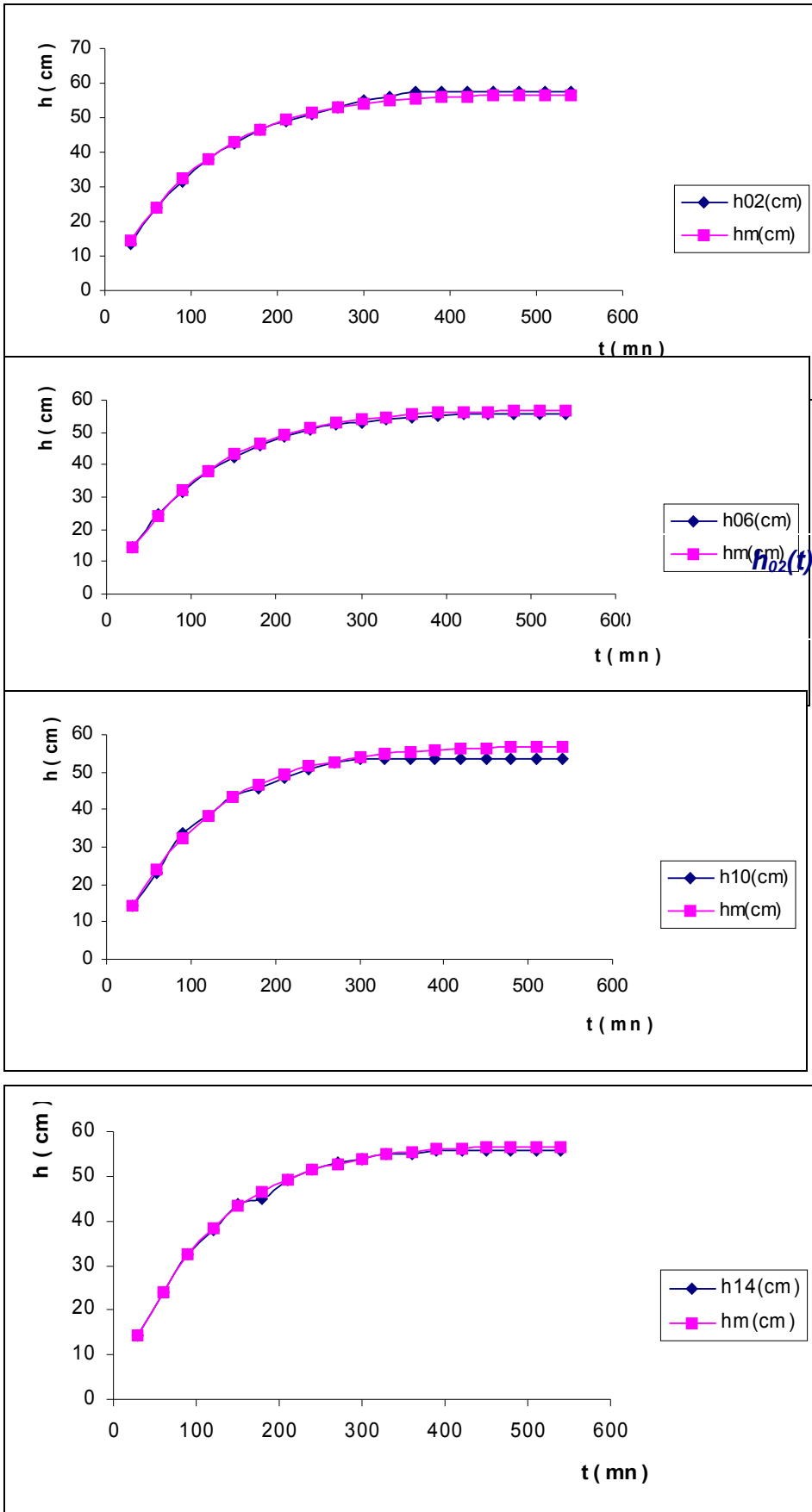


**Figure 21 : Forme de la paroi interne de la nappe aquifère**

La nappe étant alimentée par infiltration , le volume d'eau emmagasiné augmente , la côte d'une section droite de ce grand réservoir souterrain passe de  $z_i$  à  $z_{i+1}$  tout en conservant sa section  $S_i$ . Ce qui se manifeste au niveau du puits par  $h_{\max}$  constante pendant plusieurs jours. L'étude effectuée ultérieurement sur la modélisation de la nappe aquifère ( Paragraphe V – 8 ) en donnera de plus amples détails .

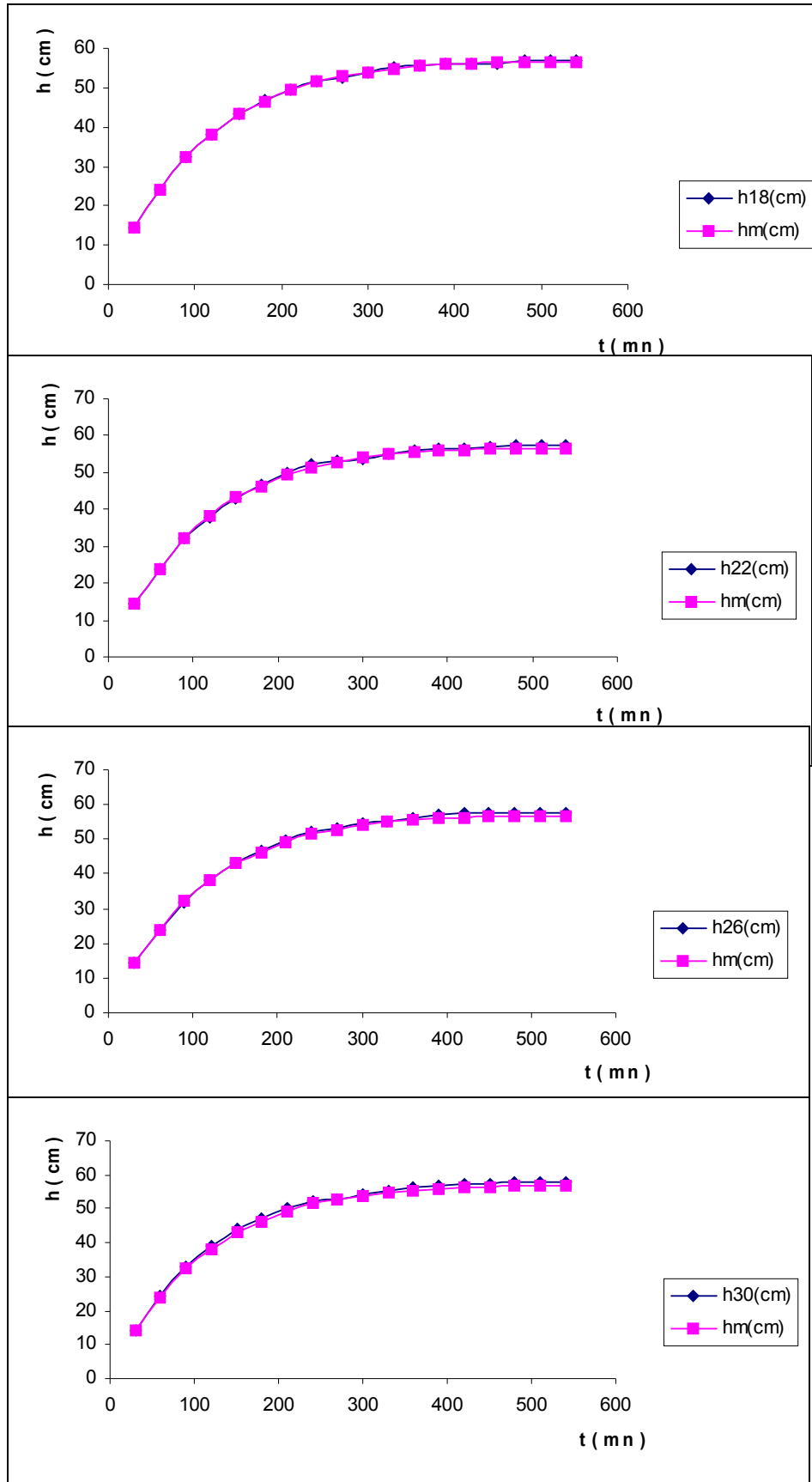
#### **V-4 ALLURE DE LA COURBE $h(t)$**

Le Tableau 5 montre que pour un même temps , quelque soit la date , la valeur de la hauteur de l'eau admet le même ordre de grandeur . C'est la raison pour laquelle la courbe  $h(t)$  de la moyenne des hauteurs reste voisine pour chacune des huit représentations graphiques de  $h(t)$  en fonction du temps ( Figure 22 et 23 ) .



$h_{02}(t), h_{06}(t), h_{10}(t), h_{14}(t)$

Figure 22 : Courbes représentatives de  $h$  en fonction du temps  $t$



**Figure 23 :** Courbes représentatives de  $h$  en fonction de temps  $t$   
 $h_{18}(t)$ ,  $h_{22}(t)$ ,  $h_{26}(t)$ ,  $h_{30}(t)$

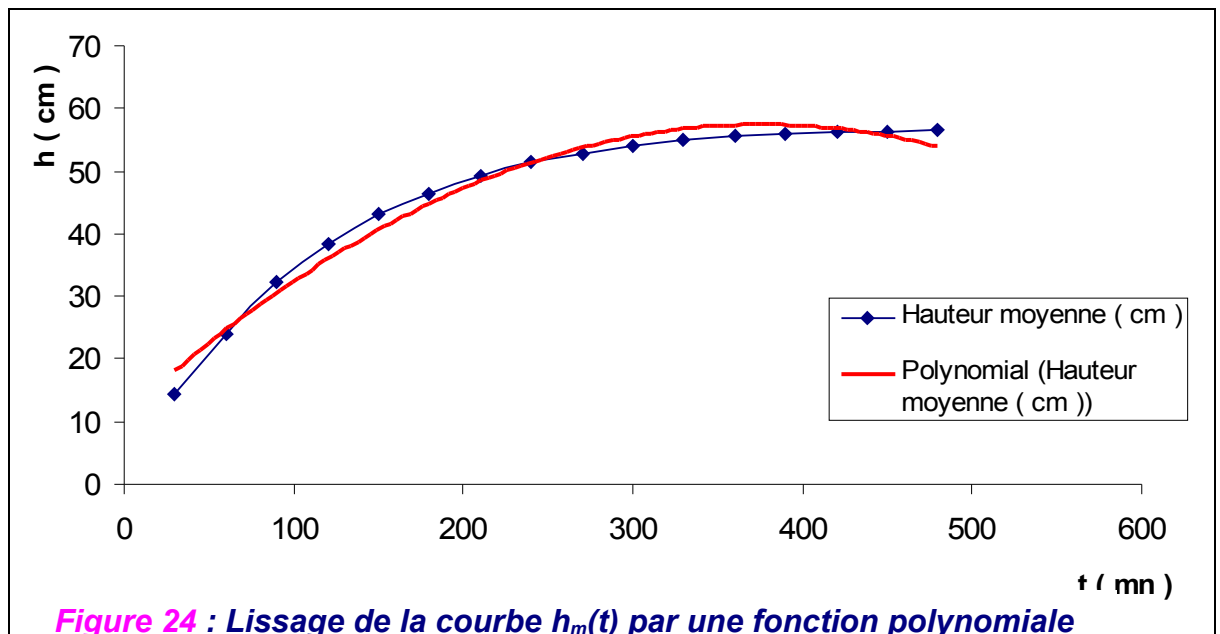


Ces différentes représentations graphiques montrent que la courbe de la hauteur moyenne  $h_m(t)$  est voisine de celles des huit jours du mois de Septembre . On peut alors avancer qu'elle peut servir de référence pour ce mois .

Le lissage de cette courbe par une fonction polynomiale permet d'avoir son équation :

$$h = -0,0003 t^2 + 0,2469 t + 11,016$$

dont le carré du coefficient de corrélation  $R^2 = 0,9784$  est voisin de l'unité . La courbe tendance de la hauteur moyenne  $h_m(t)$  est donc considérée comme une branche de parabole .

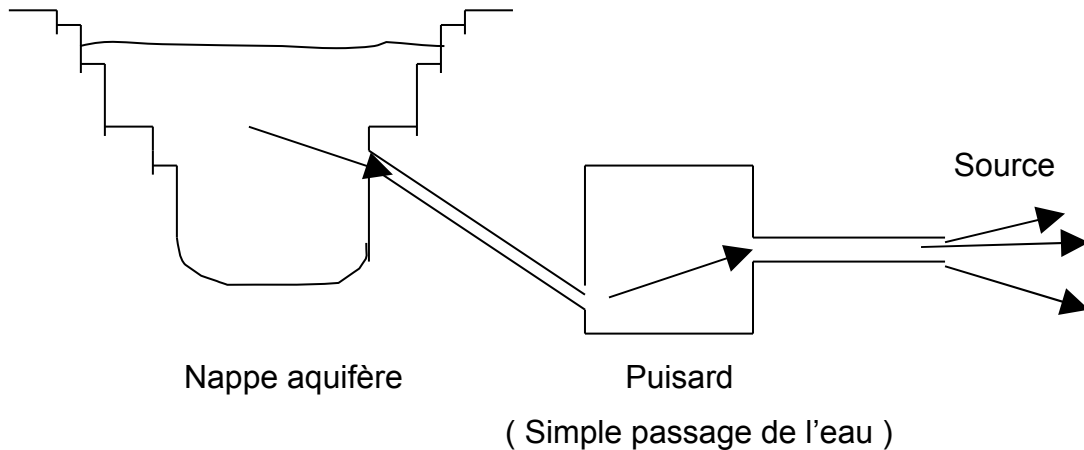


## V- 5 DEBIT A TRAVERS L'ORIFICE DU PUISARD

Les mesures effectuées auparavant sont caractérisées par l'influence de la pression atmosphérique sur la surface libre de l'eau du puisard .

A partir du 7 Décembre , lorsque l'eau commence à sortir de la bouche avaloir, on a fermé hermétiquement la partie supérieure du puisard par une vitre épaisse de 5mm munie d'un trou en son milieu .

Pour la première série de mesures , le trou est également fermé pour que l'eau ne soit plus soumise à la pression atmosphérique . Le puisard est alors considéré comme **un regard ou une simple conduite véhiculant l'eau jusqu'au niveau de l'orifice** . On peut donc obtenir dans cette condition un ensemble équivalent à une source qui jaillit du sol par un petit orifice circulaire ( Figure 25 ) .



**Figure 25 : Ensemble équivalent à une source**

Le débit de l'eau sortant par la conduite cylindrique est calculé à partir d'un volume d'eau recueilli dans un bêcher pendant 5 ou 15 secondes selon son importance. Les résultats consignés dans les tableaux qui suivent sont obtenus en faisant la moyenne de trois volumes successifs . Les relevés ont été effectués tous les jours au même moment à 15h de l'après midi à partir du mois de Décembre 2004 jusqu'en Mai 2005 .

### **V-5.1 Débits du mois de Décembre 2004**

Le Tableau 11 montre que pendant les six premiers jours du mois , l'eau ne sort pas encore du puisard (Tableau 9) , le débit est nul .

A partir du 7 jusqu'au 11 Décembre, le débit augmente progressivement et prend la valeur 54 l/h . La pluie du 24 et 25 Novembre en est la cause. Par contre

celle du 5 Décembre , uniquement observée à l' IOGA , n'a pas eu d'influence sur la variation du débit .

Du 12 au 16 Décembre ( Tableau 11 ), le débit décroît de 31,2 l/h à 13,2 l/h malgré les trois jours de pluies du 11,13 et 15 Décembre observées à l'IOGA . La réserve d'eau accumulée par la nappe aquifère le 24 et 25 Novembre est épuisée .

Le débit passe subitement de 13,2 l/h à 30,6 l/h en 24 heures le 17 Décembre car la nappe est ré alimentée par la pluie du 15 et 16 Décembre observée sur le site .

Le débit croît pendant deux jours du 18 au 19 du mois , cette croissance est due à la pluie observée pendant cinq jours sur le site . Le 20 Décembre , la variation du débit est très importante , 84 l/h en 24 h . Elle est provoquée par l'accumulation importante de 142,7mm de pluie tombant sur le site pendant 5 jours ( 15 au 19 Décembre ) . Il faut aussi noter le retard dû à l'infiltration de l'eau de la surface du sol jusqu'à la nappe aquifère . Le débit est tellement important que la réserve d'eau diminue vite , ainsi le 21 Décembre il se réduit à 129,6 l/h et augmente de nouveau le lendemain tout en étant inférieur à celui du 20 Décembre. La nappe n'est plus en effet ré alimentée depuis trois jours.

La pluie du 22 et 23 Décembre a contribué à redonner de l'énergie à la nappe car à partir du 24 jusqu'au 29 Décembre , le débit passe de 165,6 l/h à 198 l/h . Cette croissance continue jusqu'aux deux derniers jours de l'année où l'on note 216 l/h . La pluie du 29 et 30 Décembre d'une hauteur de 20mm en est la cause .

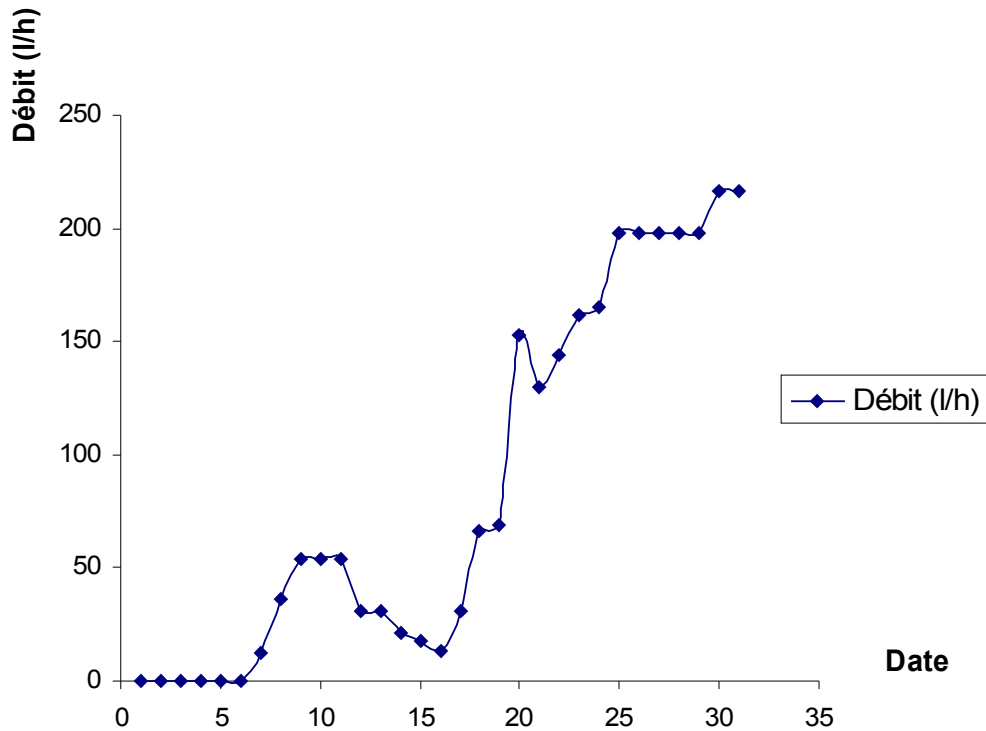
On note également l'existence de cinq jours , du 25 au 29 Décembre , caractérisés par un débit constant égal à 198 l/h et de trois autres , du 30 Décembre au 1<sup>er</sup> Janvier , par 216 l/h . Ils seront interprétés ultérieurement . Sur les 306 mm de pluie enregistrés à l'IOGA , le site n'a observé que 237,9 mm et le volume d'eau débité est égal à 59,92m<sup>3</sup> ( Tableau 11 ) .

**Tableau 11 : Débits du mois de Décembre 2004**

Date	Débit		Hauteur de pluie (mm)	Pluie observée	
	(l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)		IOGA	Site
1	0,0	0,00	-	-	-
2	0,0	0,00	-	-	-
3	0,0	0,00	-	-	-
4	0,0	0,00	-	-	-
5	0,0	0,00	1,0	X	-
6	0,0	0,00	-	-	-
7	12,0	0,33	-	-	-
8	36,0	1,00	-	-	-
9	54,0	1,50	-	-	-
10	54,0	1,50	-	-	-
11	54,0	1,50	0,5	X	-
12	31,2	0,87	-	-	-
13	31,2	0,87	1,5	X	-
14	21,0	0,58	-	-	-
15	17,4	0,48	16,0	X	17h-20h
16	13,2	0,37	40,0	X	19h-21h
17	30,6	0,85	24,0	X	16h-22h
18	66,0	1,83	24,0	X	08h-19h
19	69,0	1,92	38,7	X	12h-21h
20	153,0	4,25	3,3	X	-
21	129,6	3,60	0,1	X	-
22	144,0	4,00	3,3	X	16h-17h
23	162,0	4,50	71,9	X	14h-04h
24	165,6	4,60	18,5	X	-
25	198,0	5,50	7,2	X	-
26	198,0	5,50	-	-	-
27	198,0	5,50	-	-	-
28	198,0	5,50	8,0	X	-
29	198,0	5,50	4,0	X	16h30mn-20h
30	216,0	6,00	16,0	X	13h-17h30mn
31	216,0	6,00	28,0	X	-

- Convention utilisée | x Oui  
| - Non
- Débit journalier moyen : 80,0 l/h
- Hauteur totale de pluie : 306,0 mm
- Nombre de jours de pluie : 18
- Observation : 18 précipitations observées à l'IOGA et 9 sur le site

Les différentes valeurs du débit ont permis de faire le tracé de la courbe des débits en fonction de la date ( Figure 26 )



**Figure 26 : Débit en fonction de la date – Décembre 2004**

## V- 5.2 Débits du mois de Janvier 2005

Le Tableau 12 montre que le débit augmente jusqu'au 4 Janvier où il atteint 270 l/h . Cette croissance est due à l'effet cumulé des derniers jours de l'année 2004 et de la pluie du 3 Janvier 2005 . On observe également au lendemain d'une importante précipitation une grande diminution du débit ( 270 l/h à 252 l/h ) . Ce même phénomène a été observé le 21 Décembre ( 153 l/h à 129,6 l/h ) . Le débit décroît durant quatre jours, jusqu'à 144 l/h .

La réserve d'eau de la nappe subit de nouveau un apport supplémentaire occasionné par la pluie du 9 et 10 Janvier . Une augmentation importante du débit se produit deux jours après. On a alors 252 l/h le 12 Janvier . D'après les remarques formulées auparavant , le lendemain d'une précipitation est

caractérisé par une diminution du débit. On se trouve à 180 l/h qui sont conservés pendant 48h .

Le débit prend de nouveau de l'ampleur et devient 198 l/h pendant deux autres jours avant de retrouver les 180 l/h durant deux jours .

Jusqu'au 19 et 20 Janvier le débit ne cesse de s'accroître pour atteindre 216 l/h alors que pendant huit jours , depuis le 11 Janvier , la nappe n'est pas approvisionnée . On peut expliquer ces phénomènes comme la conséquence des 70,5 mm de pluie stockés le 9 et 10 Janvier .

Après une pluie de 13,1 mm observée sur le site le 20 Janvier , le débit passe subitement de 216 l/h à 234 l/h . En pareil cas ,il faut s'attendre à une très importante baisse de débit le lendemain , c'est pourquoi le 22 Janvier , il passe à 167,4 l/h . Le débit continue sa décroissance jusqu'au 24 Janvier où il devient 152,5 l/h . Ce phénomène sera interprété ultérieurement ( Paragraphe V – 6.1 et V - 6.2 ) par le biais du nombre de Reynolds  $Re$  .

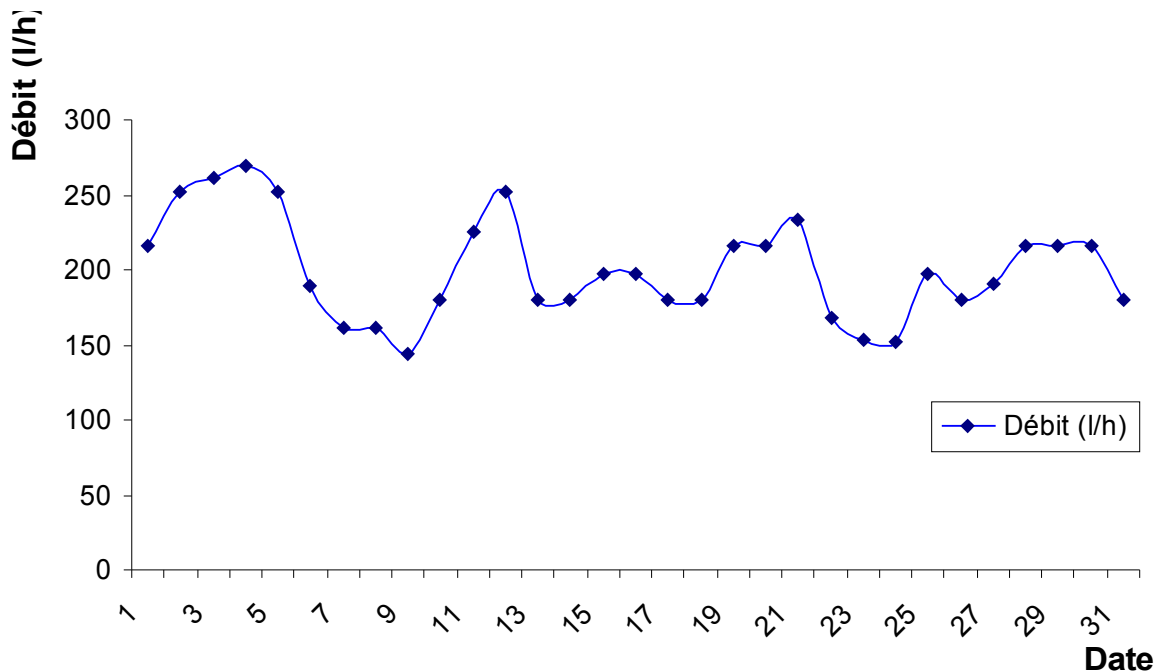
Il est bon de préciser que le litre par heure ( l/h ) est l'unité de débit utilisée pour l'interprétation des résultats . Cette unité est assez pratique compte tenu du volume d'eau débité . Toutes fois , dans les différents tableaux des débits , le  $m^3.s^{-1}$  figure en même temps que le l/h

**Tableau 12 : Débits du mois de Janvier 2005**

Date	Débit		Hauteur de pluie(mm)	Pluie observée	
	(l /h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)		IOGA	Site
1	216,0	6,00	8,0	X	-
2	252,0	7,00	5,4	X	-
3	261,0	7,25	8,3	X	Toute la journée
4	270,0	7,50	1,3	X	-
5	252,0	7,00	0,9	X	-
6	189,0	5,25	-	-	-
7	162,0	4,50	59,3	X	-
8	162,0	4,50	3,7	X	-
9	144,0	4,00	51,5	X	18h30-20h
10	180,0	5,00	19,0	X	17h-18h
11	225,0	6,25	-	-	-
12	252,0	7,00	-	-	-
13	180,0	5,00	-	-	-
14	180,0	5,00	-	-	-
15	198,0	5,50	-	-	-
16	198,0	5,50	-	-	-
17	180,0	5,00	-	-	-
18	180,0	5,00	-	-	-
19	216,0	6,00	-	-	-
20	216,0	6,00	13,1	X	16h-19h
21	234,0	6,50	-	-	-
22	167,4	4,65	-	-	-
23	153,0	4,25	10,8	X	-
24	152,5	4,23	-	-	17h-20h
25	198,0	5,50	3,2	X	-
26	180,0	5,00	10,4	X	16h-18h
27	191,2	5,31	46,0	X	16h-22h
28	216,0	6,00	31,4	X	18h-20h
29	216,0	6,00	5,5	X	-
30	216,0	6,00	-	-	-
31	180,0	5,00	-	-	-

- Convention utilisée | x Oui  
- Non
- Débit journalier moyen : 200,9 l/h
- Hauteur totale de pluie : 277,8 mm
- Nombre de jours de pluie : 16
- Observation : 16 précipitations observées à l'IOGA et 9 sur le site

Les différentes valeurs du débit ont permis de faire le tracé de la courbe des débits en fonction de la date ( Figure 27 )



**Figure 27 : Débit en fonction de la date - Janvier 2005**

Au terme de cette analyse , il est important de noter certaines remarques :

- les débits 162 l/h , 180 l/h , 198 l/h , 216 l/h sont en général présents dans le tableau pendant quelques jours d'affilée .
- sur les 16 précipitations observées à l'IIOGA , 9 seulement sont effectives sur le site .
- sur les 277,8mm de pluie enregistrées à l'IIOGA , le site n'a eu que 181mm donnant un volume d'eau débité égal à 149,5m<sup>3</sup>.



### V- 5.3 Débits du mois de Février 2005

Le Tableau 13 montre que le débit au 1<sup>er</sup> Février est identique à celui du 31 Janvier , mais il décroît pour prendre la valeur 162 l/h pendant deux jours , le 2 et 3 Février . La nappe n'est pas ré alimentée depuis le 29 Janvier . La pluie du 3 Février contribue à accroître le débit jusqu'à 180 l/h . Cette valeur est conservée pendant cinq jours jusqu'au 8 Février .

La pluie du 3 , 4 et 8 Février n'a eu de répercussion que le 9 Février . Le débit est de 198 l/h , mais à cause des effets cumulés précédemment et de la pluie du même jour il passe à 216 l/h . Cette valeur est conservée pendant deux jours . Elle revient ensuite à sa valeur initiale 198 l/h .

Du 11 Février jusqu'avant le dernier jour du mois , la nappe n'est plus ré alimentée . C'est pourquoi on observe du 16 au 21 du mois d'une part et du 22 au 27 Février d'autre part à une décroissance du débit égal respectivement à 180 l/h et 162 l/h .

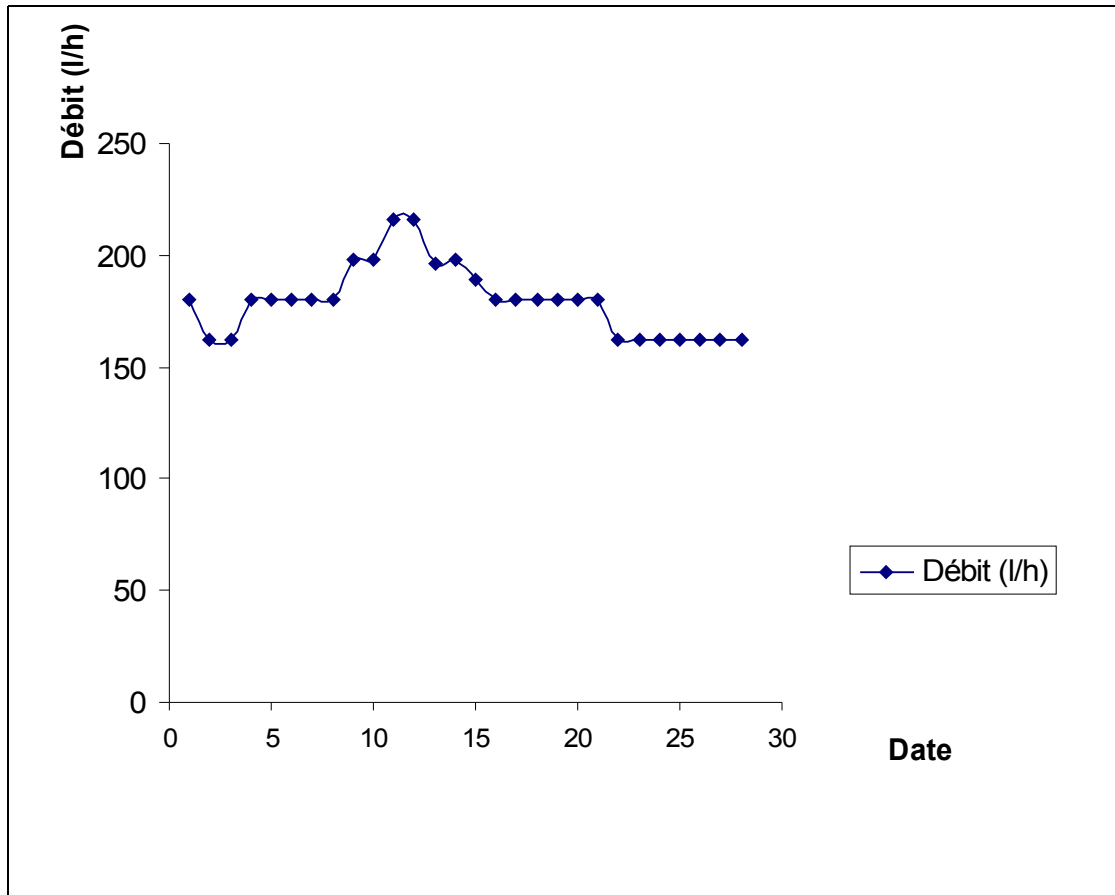
Les différentes valeurs du débit , permettant de faire le tracé de la courbe des débits en fonction de la date , sont données par le Tableau 13 .

**Tableau 13 : Débits du mois de Février 2005**

Date	Débit		Hauteur de pluie (mm)	Pluie observée	
	(l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)		IOGA	Site
1	180,0	5,00	-	-	-
2	162,0	4,50	44,2	X	-
3	162,0	4,50	2,2	X	17h-20h
4	180,0	5,00	32,3	X	17h-19h
5	180,0	5,00	-	-	-
6	180,0	5,00	10,8	X	-
7	180,0	5,00	0,2	X	-
8	180,0	5,00	4,3	X	08h-9h30mn
9	198,0	5,50	5,1	X	16h-20h
10	198,0	5,50	0,3	X	17h-19h
11	216,0	6,00	-	-	-
12	216,0	6,00	-	-	-
13	198,0	5,50	-	-	-
14	198,0	5,50	-	-	-
15	189,0	5,25	5,2	X	-
16	180,0	5,00	15,0	X	-
17	180,0	5,00	-	-	-
18	180,0	5,00	-	-	-
19	180,0	5,00	27,5	X	-
20	180,0	5,00	-	-	-
21	180,0	5,00	8,0	X	-
22	162,0	4,50	-	-	-
23	162,0	4,50	-	-	-
24	162,0	4,50	-	-	-
25	162,0	4,50	-	-	-
26	162,0	4,50	-	-	-
27	162,0	4,50	4,0	X	-
28	162,0	4,50	9,9	X	17h-17h45mn

- Convention utilisée                    x Oui  
   - Non
- Débit journalier moyen        : 180,6 l/h
- Hauteur totale de pluie        : 169,0 mm
- Nombre de jours de pluie : 14
- Observation                        : 14 précipitations observées à l'IOGA et 6 sur le site

La courbe donnant le débit du mois de Février 2005 en fonction de la date est donnée par la Figure 28 .



**Figure 28 : Débit en fonction de la date - Février 2005**

En conclusion de cette étude , il est intéressant de préciser que :

- Seuls les débits 162 l/h , 180 l/h , 198 l/h et 216 l/h sont mentionnés dans le Tableau 13 . Celui du 15 Février , 189 l/h , en fait exception
- Les parties linéaires horizontales de la courbe sont définies par des débits constants
- Sur les 14 précipitations observées à l' IOGA , 6 seulement ont contribué à alimenter le site .

- L'IOGA a enregistré 169mm de pluie alors que le site n'a eu que 54,1mm pour débiter un volume de 121,4 m<sup>3</sup> d'eau .

## V – 5.4 Débits du mois de Mars 2005

Le débit va en diminuant de 198 l/h au 1<sup>er</sup> Mars jusqu'à 126 l/h à la fin du mois (Tableau 14 ) . On remarque également qu'il conserve une valeur constante pendant plusieurs jours :

- 198 l/h durant six jours , du 1<sup>er</sup> au 6 Mars
  - 180 l/h pendant trois jours successifs
  - 162 l/h du 10 au 12 Mars
  - 144 l/h pendant 5 jours , du 18 au 22 Mars
  - 162 l/h du 23 au 25 Mars
- et 144 l/h du 26 au 29 Mars

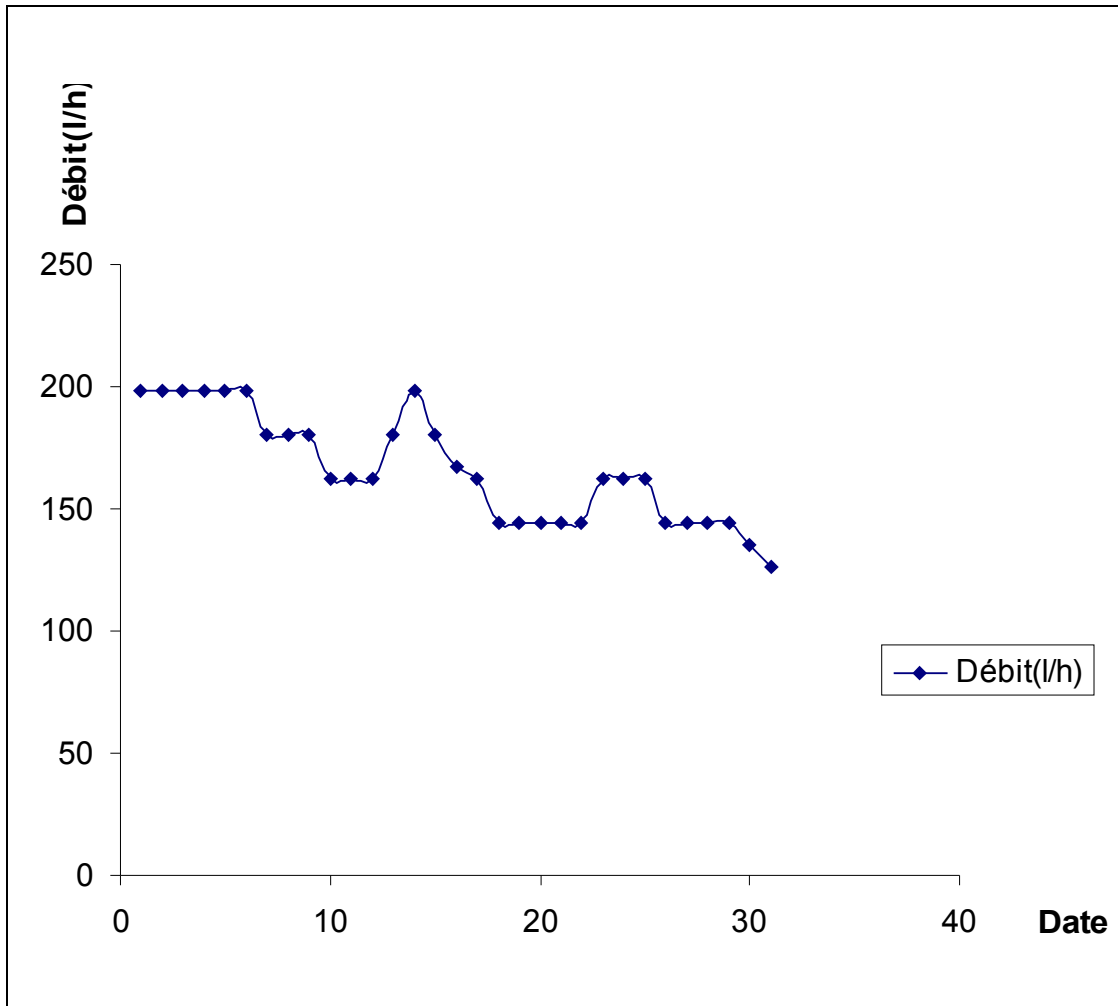
La nappe n'est alimentée que deux fois durant ce mois . La pluie de 30,7mm du 12 Mars a provoqué l'augmentation du débit de 162 l/h à 198 l/h et décroît à 180 l/h le 15 Mars . La décroissance du débit continue jusqu'au 22 du mois . Le 21 Mars , la pluie observée uniquement sur le site a produit une augmentation du débit de 144 l/h à 162 l/h . Son influence ne dure que trois jours , sitôt après , à partir du 26 et pendant quatre jours ,le débit reprend sa valeur 144 l/h . Il décroît ensuite pour terminer le mois à 126 l/h .

**Tableau 14: Débits du mois de Mars 2005**

Date	Débit		Hauteur de pluie(mm)	Pluie observée	
	(l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)		IOGA	Site
1	198,0	5,50	56,0	X	-
2	198,0	5,50	8,0	X	-
3	198,0	5,50	-	-	-
4	198,0	5,50	-	-	-
5	198,0	5,50	-	-	-
6	198,0	5,50	-	-	-
7	180,0	5,00	-	-	-
8	180,0	5,00	-	-	-
9	180,0	5,00	12,1	X	-
10	162,0	4,50	1,6	X	-
11	162,0	4,50	13,4	X	-
12	162,0	4,50	30,7	X	17h30mn-20h
13	180,0	5,00	2,0	X	-
14	198,0	5,50	-	-	-
15	180,0	5,00	-	-	-
16	167,4	4,65	0,3	X	-
17	162,0	4,50	-	-	-
18	144,0	4,00	-	-	-
19	144,0	4,00	-	-	-
20	144,0	4,00	-	-	-
21	144,0	4,00	-	-	17h-17h30mn
22	144,0	4,00	-	-	-
23	162,0	4,50	-	-	-
24	162,0	4,50	-	-	-
25	162,0	4,50	-	-	-
26	144,0	4,00	-	-	-
27	144,0	4,00	-	-	-
28	144,0	4,00	-	-	-
29	144,0	4,00	-	-	-
30	135,0	3,75	-	-	-
31	126,0	3,50	-	-	-

- Convention utilisée            x Oui  
   - Non
- Débit journalier moyen        : 168,9 l/h
- Hauteur totale de pluie        : 124,1 mm
- Nombre de jours de pluie : 8
- Observation                        : 8 précipitations observées à l'IOGA et 2 sur le site

La courbe donnant le débit du mois de Mars 2005 en fonction de la date est donnée par la Figure 29



**Figure 29 : Débit en fonction de la date - Mars 2005**

L'observation de cette figure permet d'apporter quelques précisions :

- La courbe comprend six parties linéaires horizontales définies par les mêmes débits précédemment mentionnés . Il faut aussi y ajouter le groupe de valeur 144 l/h qui se présente deux fois dans le mois .
- Les débits 167,4 l/h et 135 l/h respectivement obtenus le 16 et 30 Mars constituent une exception .

Au terme de cette étude , on peut noter que sur les 8 précipitations observées à l'IOGA , 2 seulement ont contribué à alimenter le site . L'IOGA a totalisé 124,1 mm de pluie pour seulement 30,7 mm au profit de la nappe . Il faut également ajouter celle qui est observable uniquement sur le site le 21 Mars . Le volume total d'eau débité pendant ce mois de Mars est de 125,6m<sup>3</sup>

### **V- 5.5 Débits du mois d'Avril 2005**

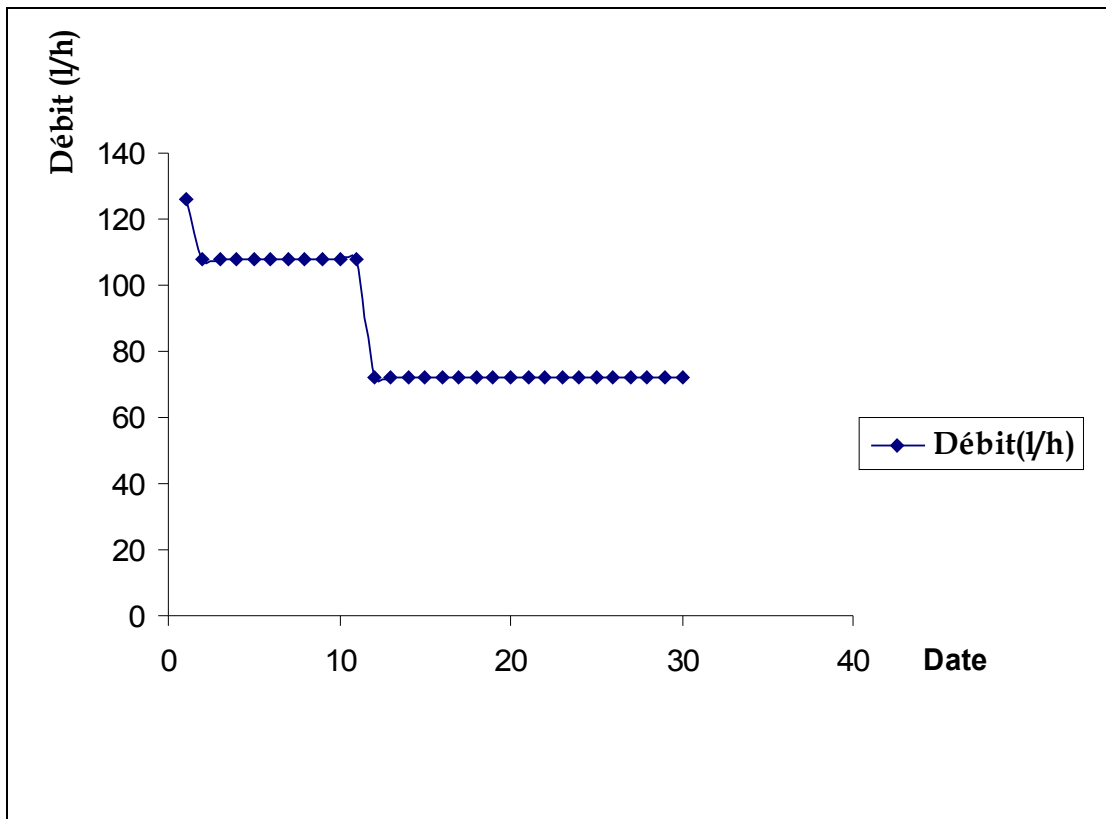
Le mois d'Avril est caractérisé par l'absence totale de pluie alimentant la nappe aquifère . Les résultats consignés dans le Tableau 15 en sont une conséquence logique .

126 l/h est le débit observé au premier jour du mois . Il devient 108 l/h dès le 2 Avril . Cette valeur est conservée jusqu'au 11 . Depuis le 12 Avril jusqu'à la fin du mois le débit reste égal à 72 l/h . La figure donnant la courbe du débit en fonction de la date ( Figure 30 ) admet deux parties linéaires horizontales . Elles sont définies par des débits constants . La décroissance du débit s'effectue par paliers .





La courbe du débit du mois d 'Avril 2005 en fonction de la date est donnée par la Figure 30.



**Figure 30 : Débit en fonction de la date - Avril 2005**

A l'issue de cette analyse il est bon de préciser que deux nouveaux débits 108 l/h et 72 l/h viennent grossir le lot des débits caractéristiques mentionnés dans le paragraphe V- 5.4 . **Ce mois d'Avril confirme l'existence d'un microclimat sur le site** . Les 73,5mm de pluie enregistrés à l'IOPA n'ont aucun effet sur la nappe . Malgré l'absence totale de pluie pendant le mois d'Avril , le volume d'eau débité est encore égal à 61,8 m<sup>3</sup> .

## V- 5.6 Débits du mois de Mai 2005

Les trois premiers jours du mois commencent par un débit de 54 l/h ( Tableau 16 ) . On passe à 36 l/h jusqu'au 6 Mai . Pendant 10 jours le débit prend

la même valeur 18 l/h . Il continue à décroître et devient 14,4 l/h pendant trois jours , du 17 au 19 Mai . Le débit devient nul à partir du 20 jusqu'au 25 Mai date à laquelle 14,6 mm de pluie viennent ré alimenter la nappe . Le lendemain l 'effet ne se fait attendre car l'orifice du puisard commence à débiter 12 l/h . Cet écoulement ne dure que trois jours . Du 29 au 31 Mai , c'est le tarissement total , on est en saison sèche .

La Figure 31 montre que la courbe du débit en fonction de la date présente sept parties linéaires horizontales où les débits sont constants .

Comme auparavant , il est aussi utile de préciser que 54 l/h , 36 l/h , 18 l/h , 14,4 l/h et 12 l/h complètent la liste des débits caractérisant l'écoulement.

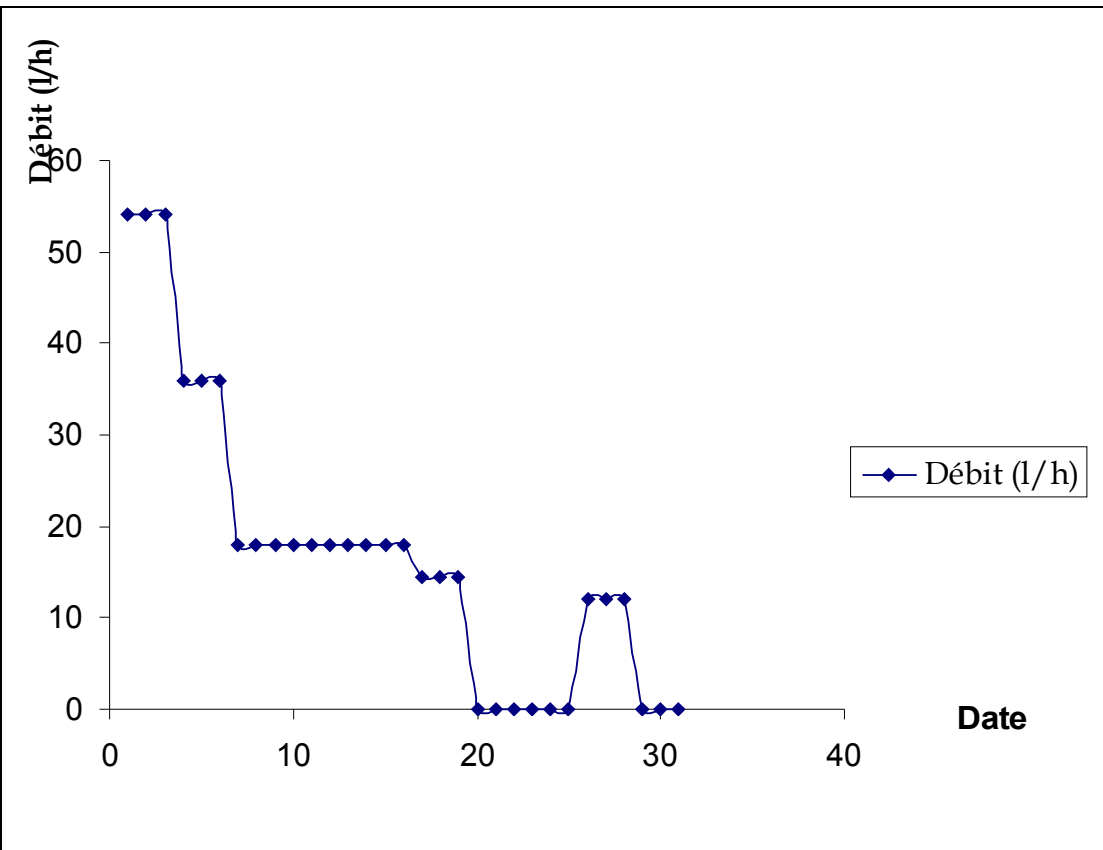
La pluie du 25 Mai observable sur le site de 21 h à 01 h du matin a provoqué la réapparition de l'écoulement le 26 Mai à 12h30mn . Le débit redevient nul le 28 Mai à 18 h . On peut donc dire que les 14,6mm de pluie enregistrés à l'IOGA et observables sur le site ont contribué à donner 810 l d'eau calculés pendant que le débit garde la valeur constante 12 l/h .

**Tableau 16: Débits du mois de Mai 2005**

Date	Debit		Hauteur de pluie (mm)	Pluie observée	
	(l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)		IOGA	Site
1	54,0	1,50	-	-	-
2	54,0	1,50	-	-	-
3	54,0	1,50	-	-	-
4	36,0	1,00	-	-	-
5	36,0	1,00	-	-	-
6	36,0	1,00	-	-	-
7	18,0	0,50	-	-	-
8	18,0	0,50	-	-	-
9	18,0	0,50	-	-	-
10	18,0	0,50	-	-	-
11	18,0	0,50	-	-	-
12	18,0	0,50	-	-	-
13	18,0	0,50	-	-	-
14	18,0	0,50	-	-	-
15	18,0	0,50	-	-	-
16	18,0	0,50	-	-	-
17	14,4	0,40	-	-	-
18	14,4	0,40	-	-	-
19	14,4	0,40	-	-	-
20	0,0	0,00	-	-	-
21	0,0	0,00	-	-	-
22	0,0	0,00	-	-	-
23	0,0	0,00	-	-	-
24	0,0	0,00	2,5	X	-
25	0,0	0,00	14,6	X	21h-01h
26	12	0,33	0,2	X	-
27	12	0,33	-	-	-
28	12	0,33	-	-	-
29	0,0	0,00	-	-	-
30	0,0	0,00	-	-	-
31	0,0	0,00	-	-	-

- Convention utilisée            x Oui  
   - Non
- Débit journalier moyen        : 17,1 l/h
- Hauteur totale de pluie        : 17,3 mm
- Nombre de jours de pluie : 3
- Observation                        : 3 précipitations observées à l'IOGA et 1 sur le site

La courbe donnant le débit du mois de Mai en fonction de la date est donnée par la figure suivante .



**Figure 31:** Débit en fonction de la date - Mai 2005

Les différentes analyses effectuées permettent de dire que sur les trois précipitations observées à l'IOGA , une seulement se présente sur le site . Le volume d'eau débité par le puisard durant ce mois de Mai n'est que  $9,1\text{m}^3$  .

## V-6 INTERPRETATION DE QUELQUES CAS DE DEBITS

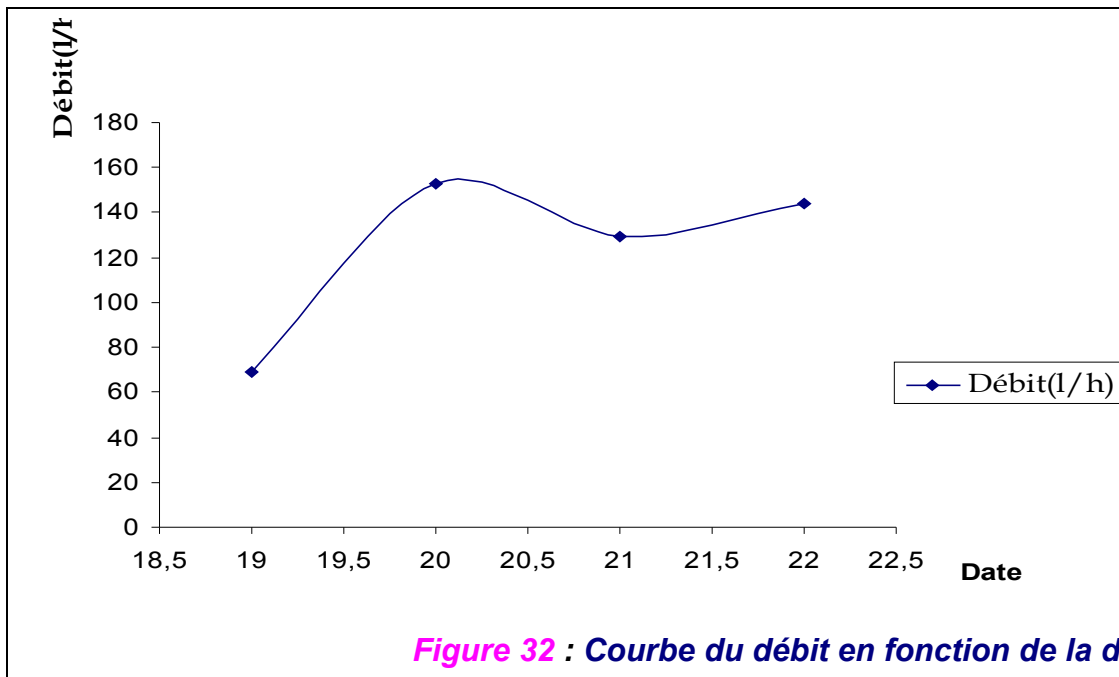
Deux groupes de valeurs figurant dans les Tableaux 11 et 12 font l'objet d'une attention particulière . En effet , la décroissance du débit à partir de son maximum ne suit pas la logique d'un ordre chronologique . Il s'agit des débits du 19 au 22 Décembre et ceux du 10 au 20 Janvier . La reproduction d'une partie de ces tableaux permet de nous en persuader .

**Tableau 17 : Débits de l'écoulement  
19 au 22 Décembre 2004**

Date	Débit		Hauteur de pluie ( mm )	Pluie observée		Nombre de Reynolds Re
	(l/h)	$10^{-5}(m^3/s)$		IOGA	Site	
19	69,0	1,92	38,7	X	12h-21h	957
20	153,0	4,25	3,3	X	-	2121
21	129,6	3,60	-	X	-	1797
22	144	4,00	3,3	X	16h-17h	1996

Convention utilisée | X Oui  
- Non

La courbe représentative du débit en fonction de la date ( Figure 32 )  
est croissante . Elle ne présente pas de remarque particulière .



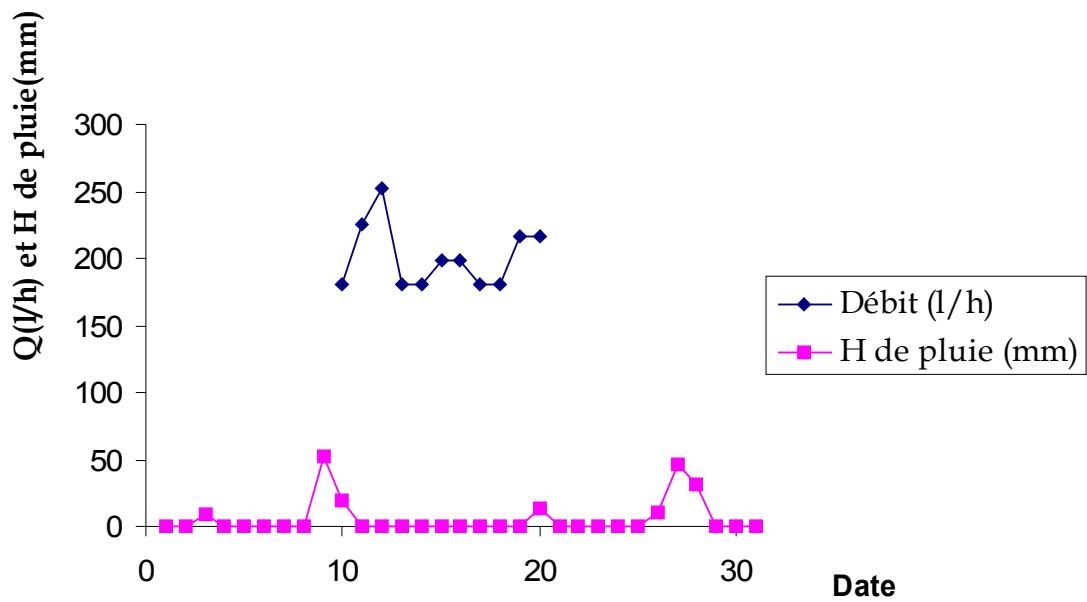
**Figure 32 : Courbe du débit en fonction de la date  
Du 19 au 22 Décembre**

**du 10 au 20 Janvier 2005**

Date	Débit		Hauteur de pluie (mm)	Pluie observée		Nombre de Reynolds Re
	(l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)		IOGA	Site	
10	180	5,00	19,0	X	17h-18h	2495
11	225	6,25	-	-	-	3119
12	252	7,00	-	-	-	3493
13	180	5,00	-	-	-	2495
14	180	5,00	-	-	-	2495
15	198	5,50	-	-	-	2745
16	198	5,50	-	-	-	2745
17	180	5,00	-	-	-	2495
18	180	5,00	-	-	-	2495
19	216	6,00	-	-	-	2995
20	216	6,00	13,1	X	16h-19h	2995

Convention utilisée  $\left\{ \begin{array}{l} X \text{ Oui} \\ - \text{ Non} \end{array} \right.$

La courbe donnant le débit en fonction de la date peut être considérée comme une fonction périodique dont les sommets sont écartés ( Figure 33 ) .



**Figure 33 : Courbe du débit et des hauteurs de pluie en fonction de la date du 10 au 20 Janvier 2005**

La hauteur et la durée de la pluie dans les deux cas considérés montrent que la pluie du 19 Décembre est abondante et persistante alors que celle du 10 Janvier est torrentielle et de courte durée . Lorsque la pluie est persistante , l'infiltration de l'eau dans le sol est importante. Beaucoup d 'ouvrages l'ont confirmé, on peut citer entre autres [10 ],[11 ] . Pour une pluie torrentielle de courte durée , les espaces interstitiels qui existent entre les différents constituants physiques du sol sont facilement étouffés et n'arrivent pas à absorber la grande quantité d'eau reçue .Il s'ensuit que le ruissellement , un écoulement de surface , est plus prépondérant que l'infiltration .Deux exemples peuvent illustrer ces deux types d'écoulement :

- 62,7 mm de pluie persistante de durée 20 h survenue les 18 et 19 Décembre 2004 ( Tableau 11 ) ont donné une variation du débit de 84 l/h en 24 h , du 19 au 20 Décembre . L'infiltration est alors importante .

- 70,5 mm de pluie torrentielle de durée 2 h 30 mn survenue les 9 et 10 Janvier 2005 ( Tableau 12 ) produisent une variation du débit égale à 72 l/h en 48 h , du 10 au 12 Janvier 2005 . Le ruissellement est alors plus important que l'infiltration .

Pour expliquer l'absence de chronologie dans chacun des deux groupes de débits , le recours au nombre de Reynolds donné par (36) :

$$Re = \frac{\rho \cdot VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

s'avère incontournable . C'est pourquoi les Tableaux 17 et 18 contiennent une colonne où figurent les nombres de Reynolds correspondant à chacun des débits de l'écoulement .

### **V-6.1 Débits du 19 au 22 Décembre 2004**

L'écoulement du 19 Décembre est laminaire (  $Re = 957$  ) . 24 h plus tard il devient turbulent (  $Re = 2121$  ) . Dans ce cas , les particules de fluide ne suivent plus des trajectoires ordonnées . Elles se déplacent d'une façon désordonnée avec une grande vitesse si bien qu'elles sont soumises à d'importantes forces de frottement provoquant leur ralentissement , le débit passe alors de 153 l/h à 129,6 l/h 24 h plus tard .

Un jour après , le 22 Décembre , le désordre provoqué par le passage de l'écoulement laminaire au turbulent tend à se dissiper car la nappe n'est plus ré alimentée et aucune autre perturbation n'est venue déranger le cours normal de l'écoulement . Il s'ensuit que le débit augmente et devient 144 l/h tout en restant inférieur à 153 l/h .

### **V- 6.2 Débits du 10 au 20 Janvier 2005**



Le cas considéré est tout à fait différent de celui du mois de Décembre . En effet l'écoulement est initialement turbulent ,  $Re = 2495$  , à l'arrivée des 19mm de pluie ( IOGA et Site ).

La pluie torrentielle du 10 Janvier alimentant la nappe par infiltration constitue une perturbation dans son grand volume d'eau.

On sait également qu'une telle sollicitation si petite soit elle introduite dans un écoulement turbulent se développe et s'amplifie tout au long de son parcours . C'est effectivement ce qui se passe pour ce groupe de débits du mois de Janvier .

Le puisard n'étant plus exposé à l'atmosphère , il joue le rôle de regard et de passage de l'écoulement vers l'orifice d'évacuation où s'effectuent les prises de mesures . La perturbation qui a pris naissance dans la nappe se transmet intégralement jusqu'au niveau de l'orifice . Elle peut être continue ou périodique , c'est pourquoi la courbe de débit ( Figure 33 ) a une allure périodique aux sommets écrétés reflétant les fluctuations au niveau de la nappe aquifère .

## **V – 7 SYNTHÈSE DES RESULTATS SUR LE DEBIT**

L'étude n'est pas complète si elle ne renferme pas tous les renseignements concernant l'écoulement souterrain . Il s'agit du calcul des nombres de Reynolds de Décembre 2004 à Mai 2005 . Ce qui fait l'objet des Tableaux 19 et 20 .

**Tableau 19 : Nombre de Reynolds et débits****Décembre 2004 – Février 2005**

Date	Décembre			Janvier			Février		
	Debit (l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Re	Debit (l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Re	Debit (l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Re
1	0,0	0,00	0,0	216,0	6,00	2995,0	180,0	5,00	2495,0
2	0,0	0,00	0,0	252,0	7,00	3494,0	162,0	4,50	2246,0
3	0,0	0,00	0,0	261,0	7,25	3619,0	162,0	4,50	2246,0
4	0,0	0,00	0,0	270,0	7,50	3743,0	180,0	5,00	2495,0
5	0,0	0,00	0,0	252,0	7,00	3494,0	180,0	5,00	2495,0
6	0,0	0,00	0,0	189,0	5,25	2620,0	180,0	5,00	2495,0
7	12,0	0,33	166,0	162,0	4,50	2246,0	180,0	5,00	2495,0
8	36,0	1,00	499,0	162,0	4,50	2246,0	180,0	5,00	2495,0
9	54,0	1,50	748,7	144,0	4,00	1996,0	198,0	5,50	2745,0
10	54,0	1,50	748,7	180,0	5,00	2495,0	198,0	5,50	2745,0
11	54,0	1,50	748,7	225,0	6,25	3119,0	216,0	6,00	2995,0
12	31,2	0,86	432,6	252,0	7,00	3494,0	216,0	6,00	2995,0
13	31,2	0,86	432,6	180,0	5,00	2495,0	198,0	5,50	2745,0
14	21,0	0,58	291,0	180,0	5,00	2495,0	198,0	5,50	2745,0
15	17,4	0,48	241,0	198,0	5,50	2745,0	189,0	5,25	2620,0
16	13,2	0,36	183,0	198,0	5,50	2745,0	180,0	5,00	2495,0
17	30,6	0,85	424,0	180,0	5,00	2495,0	180,0	5,00	2495,0
18	66,0	1,83	915,0	180,0	5,00	2495,0	180,0	5,00	2495,0
19	69,0	1,91	957,0	216,0	6,00	2995,0	180,0	5,00	2495,0
20	153,0	4,25	2121,0	216,0	6,00	2995,0	180,0	5,00	2495,0
21	129,6	3,60	1797,0	234,0	6,50	3244,0	180,0	5,00	2495,0
22	144,0	4,00	1996,0	167,4	4,65	2321,0	162,0	4,50	2246,0
23	162,0	4,50	2246,0	153,0	4,25	2121,0	162,0	4,50	2246,0
24	165,6	4,60	2296,0	152,5	3,48	2114,0	162,0	4,50	2246,0
25	198,0	5,50	2745,0	198,0	5,50	2745,0	162,0	4,50	2246,0
26	198,0	5,50	2745,0	180,0	5,00	2495,0	162,0	4,50	2246,0
27	198,0	5,50	2745,0	191,2	5,31	2651,0	162,0	4,50	2246,0
28	198,0	5,50	2745,0	216,0	6,00	2995,0	162,0	4,50	2246,0
29	198,0	5,50	2745,0	216,0	6,00	2995,0	-	-	-
30	216,0	6,00	2995,0	216,0	6,00	2995,0	-	-	-
31	216,0	6,00	2995,0	180,0	5,00	2495,0	-	-	-

**Tableau 20 : Nombre de Reynolds et débits**  
**Mars 2005- Mai 2005**

Date	Mars			Avril			Mai		
	Debit (l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Re	Debit (l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Re	Debit (l/h)	10 <sup>-5</sup> (m <sup>3</sup> /s)	Re
1	198,0	5,50	2745,0	126,0	3,50	1747,0	54,0	1,50	748,7
2	198,0	5,50	2745,0	108,0	3,00	1497,0	54,0	1,50	748,7
3	198,0	5,50	2745,0	108,0	3,00	1497,0	54,0	1,50	748,7
4	198,0	5,50	2745,0	108,0	3,00	1497,0	36,0	1,00	499,0
5	198,0	5,50	2745,0	108,0	3,00	1497,0	36,0	1,00	499,0
6	198,0	5,50	2745,0	108,0	3,00	1497,0	36,0	1,00	499,0
7	180,0	5,00	2495,0	108,0	3,00	1497,0	18,0	0,50	249,5
8	180,0	5,00	2495,0	108,0	3,00	1497,0	18,0	0,50	249,5
9	180,0	5,00	2495,0	108,0	3,00	1497,0	18,0	0,50	249,5
10	162,0	4,50	2246,0	108,0	3,00	1497,0	18,0	0,50	249,5
11	162,0	4,50	2246,0	108,0	3,00	1497,0	18,0	0,50	249,5
12	162,0	4,50	2246,0	72,0	2,00	998,0	18,0	0,50	249,5
13	180,0	5,00	2495,0	72,0	2,00	998,0	18,0	0,50	249,5
14	198,0	5,50	2745,0	72,0	2,00	998,0	18,0	0,50	249,5
15	180,0	5,00	2495,0	72,0	2,00	998,0	18,0	0,50	249,5
16	167,4	4,65	2321,0	72,0	2,00	998,0	18,0	0,50	249,5
17	162,0	4,50	2246,0	72,0	2,00	998,0	14,4	0,40	199,6
18	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	14,4	0,40	199,6
19	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	14,4	0,40	199,6
20	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
21	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
22	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
23	162,0	4,50	2246,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
24	162,0	4,50	2246,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
25	162,0	4,50	2246,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
26	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	12,0	0,33	166,0
27	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	12,0	0,33	166,0
28	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	12,0	0,33	166,0
29	144,0	4,00	1996,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
30	135,0	3,75	1872,0	72,0	2,00	998,0	0,0	0,00	0,0
31	126,0	3,50	1747,0	-	-	-	0,0	0,00	0,0

Ces tableaux montrent que l'écoulement est turbulent du 23 Décembre au 17 Mars , soit environ trois mois . Cette assertion n'est pas surprenante car

elle est en parfait accord avec les propriétés d'un écoulement en conduite qui est en général turbulent , C'est ce que COMOLET R. a développé dans son ouvrage [23 ].

La moyenne des débits et le nombre de Reynolds relatifs à chacun des six mois d'expérience (Tableau 21 ) ne font que confirmer les constatations précédentes .

**Tableau 21 : Moyenne des débits et Nombre de Reynolds  
Décembre 2004 – Mai 2005**

Mois	Moyenne des débits		Nombre de Reynolds	Nature de l'écoulement	Hauteur totale de pluie (mm)	
	(l/h)	$10^{-5}(m^3/s)$			IOGA	Site
Décembre	85,99	2,39	1192,2	Laminaire	306,0	273,9
Janvier	200,52	5,57	2780,4	Turbulent	277,8	179,7
Février	179,64	4,99	2490,8	Turbulent	169,0	54,1
Mars	165,91	4,61	2300,0	Turbulent	124,1	30,7
Avril	85,77	2,38	1189,3	Laminaire	73,5	0,0
Mai	17,06	0,47	236,6	Laminaire	17,3	14,6

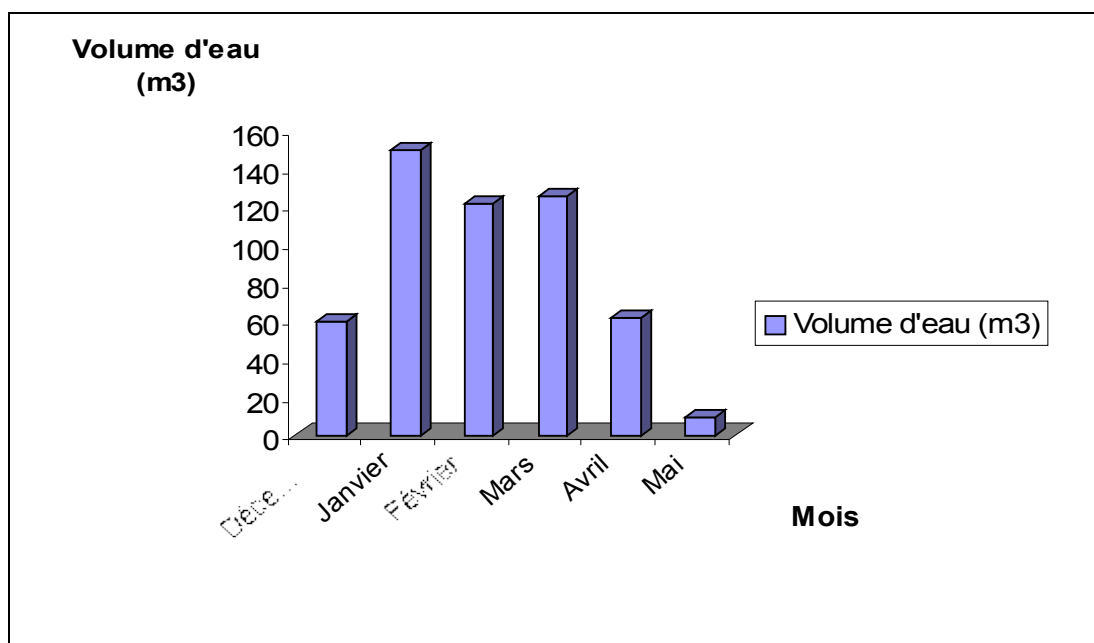
Le Tableau 21 permet de voir que durant trois mois , de Janvier à Mars 2005 , l'écoulement dans la conduite d'évacuation du puisard est turbulent . Ce qui nous a incité à exploiter cette eau sortant sous forme de jet

Pour compléter tous les renseignements concernant le puisard nous avons jugé utile de porter dans le Tableau 22 le volume d'eau débité par le puisard de Décembre 2004 à Mai 2005.

**Tableau 22 : Volume d'eau débité par le puisard  
Décembre 2004 – Mai 2005**

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	
Débit journalier moyen du puisard (l/h)	80,0	200,9	180,6	168,9	85,8	17,1	
	2,22	5,58	5,02	4,69	2,38	0,48	
Volume d'eau débité en 24h (m <sup>3</sup> )	1,92	4,82	4,34	4,05	2,06	0,41	
Volume d'eau débité en un mois (m <sup>3</sup> )	59,92	149,5	121,4	125,6	61,8	9,1	
Hauteur totale de pluie(mm)	IOGA	306,0	277,8	169,0	124,1	73,5	17,3
	Site	237,9	179,7	54,1	54,1	30,7	0,0
Nombre de jours de pluie	IOGA	18	16	14	8	11	3
	Site	9	8	6	2	0	1

L'histogramme du volume d'eau débité entre Décembre 2004 et Mai 2005 Figure 34 permet de voir l'importance de la quantité d'eau obtenue durant la saison pluvieuse qui s'achève au mois de Mai .



**Figure 34 : Histogramme du volume d'eau débité  
Décembre 2004 – Mai 2005**

Le Tableau 22 offre la possibilité de calculer les 527,32 m<sup>3</sup> d'eau débitée par le puisard entre le 7 Décembre 2004 et le 28 Mai 2005 . C'est une quantité importante à laquelle le système de protection doit faire face pour éviter la remontée d'eau . Elle est encore impressionnante en cas de cyclone .

Il est également intéressant de présenter le Tableau 23 pour connaître le maximum et le minimum du volume d'eau débité en 24h par le puisard pendant la même période que précédemment . Le maximum est obtenu le 4 Janvier 2005 avec 6,48m<sup>3</sup> d'eau caractérisés par un nombre de Reynolds égal à 3743 . L'écoulement est dans ce cas important et peut engendrer de lourdes conséquences si des dispositions ne sont pas prises .

Le 26 Mai 2005 , le puisard ne débite plus que 0,28 m<sup>3</sup> d'eau en 24h . Le nombre de Reynolds correspondant est de 166 . C'est un écoulement très lent . Le puisard et la nappe aquifère s'approchent de l'état d'équilibre hydrostatique .

**Tableau 23 : Maximum et minimum du débit  
Décembre 2004 - Mai 2005**

Date	4 Janvier 2005	26 Mai 2005
Débit ( l/h )	270	12
$10^{-5} (m^3/s)$	7,50	0,33
Volume débité en 24h (m <sup>3</sup> )	6,48	0,28
Nombre de Reynolds	3743	166

## V- 8 DISCUSSION

### V- 8 . 1 Sur l'existence d'un micro climat sur le site

Les différentes interprétations de la hauteur maximale  $h_{max}$  de l'eau et du débit  $Q$  sortant par la conduite d'évacuation du puisard ont été faites moyennant les hauteurs de pluie fournies par l'Institut et Observatoire de Géophysique d' Antananarivo ( IOGA ) . Ne disposant pas d'un pluviomètre , on peut être tenté de dire que l'existence d'un micro climat sur le site Antsahameva par rapport à l'IOGA situé à 856m ne relève que de la pure subjectivité . Cette défaillance est toutefois comblée par les variations du débit chaque fois que des précipitations pluviales sont observées sur le site . Le mois d'Avril 2005 en est une preuve car 11 précipitations ont été enregistrées à l'IOGA contre 0 sur le site . Il en résulte que le débit ne cesse de décroître de 126 l /h au 1<sup>er</sup> Avril jusqu'à 72 l /h à la fin du mois .

### V-8.2 Sur le système d'évacuation des eaux usées du site

Les eaux de pluie en provenance de la cité des Professeurs de Fort Duchesne sont assurées par un réseau d'évacuation des eaux pluviales. Des

canaux de section trapézoïdale permettant des écoulements à surface libre traversent le site et aboutissent aux rizières situées en contrebas .

Les eaux usées domestiques , par contre , ne présentent pas de dispositifs adéquats d'évacuation . Elles sont rejetées directement à même le sol . L'éloignement du bac à ordures encourage également les habitants à enterrer leurs déchets ménagers . Face à l'insuffisance du réseau d'assainissement , la contamination des eaux souterraines est inévitable par l'infiltration dans le sol du lixiviat des déchets [24] , [25] . Les études entreprises sur différents puits situés à Ambohipo ont montré l'augmentation du degré de pollution dans les eaux souterraines pendant la saison des pluies [12] . Ce volet de recherche n'a pas été pris en compte dans nos travaux car il n'influence pas le débit d'écoulement au niveau de l'orifice d'évacuation du puisard .

## V-9 CONCLUSION

A l'issue de cette partie expérimentale il est possible de dégager les résultats suivants :

- l'influence d'une précipitation pluviale ne se manifeste sur le site qu'après 24 ou 48h selon que la pluie est persistante ou torrentielle de courte durée .
- Le nombre de Reynolds et les données pluviométriques ont permis de voir que les perturbations dans la nappe se transmettent également au niveau du puisard .
- Ne disposant pas d'appareil adéquat , l'observation des précipitations pluviales sur le site et l'étude de la variation du débit permettent de montrer que le site d'Antsahameva admet un micro climat par rapport à l'IOGA .
- L'existence d'un certain nombre de débits constants pendant plusieurs jours , observables pendant six mois d'expérience , peut donner matière à réflexion sur la forme de la paroi interne de la nappe aquifère .