

## Annexe 6 : Interprétation des essais de pompage

### 6-1 Expressions de Theis et de Jacob

L'écoulement dans un aquifère actif autour d'un puits est représenté par une équation différentielle du 2<sup>nd</sup> ordre de la forme

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Delta}{\partial R} = \frac{S}{T} \frac{\partial \Delta}{\partial t}$$

La formule de Theis représente la solution de cette équation différentielle.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{avec} \quad W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

Et  $u = \frac{x^2 S}{4tT}$

$$-Ei(u) = W(u) = -0,577216 - \text{Log}u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots$$

#### Approche de Cooper-Jacob

La résolution directe de cette expression est pratiquement impossible. C'est pour cela qu'on a recours à la formule d'approximation de Jacob. Sa théorie est la suivante :

Lorsque  $u$  est suffisamment petit, c'est-à-dire que le temps de pompage est suffisamment long ; la série constituant le 3<sup>ème</sup> terme du 2<sup>nd</sup> membre tend rapidement vers 0 et  $W(u)$  peut être pris égal à  $W(u) = -0,577216 - \text{log}u$ . L'expression de  $s$  devient alors

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{Sx^2} = \frac{0,183Q}{T} (\log \frac{2,25T}{Sx^2} + \log t) [1]$$

$s$  : rabattement mesuré par un piézomètre [m]

$Q$  : débit de pompage [m<sup>3</sup>/s]

$T$  : transmissivité [m<sup>2</sup>/s]

$S$  : coefficient d'emmagasinement

$x$  : distance du piézomètre à l'axe du puits [m]

$t$  : temps écoulé à un instant donné depuis le début du pompage [s]

En posant  $X = \log t$ , l'expression de  $s$  prend la forme de l'équation d'une droite  $s = aX + b$  telle que

$$a = \frac{0,183Q}{T} \quad \text{et} \quad b = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25T}{Sx^2}$$

- Transmissivité T

a correspond à la pente de la droite et par conséquent se calcul comme suit  $a = \frac{\Delta s}{\Delta(\log t)}$ . Nous

aboutissons ainsi à la relation  $a = \frac{\Delta s}{\Delta(\log t)} = \frac{0,183Q}{T}$

- Coefficient d'emménagement S

Le rabattement n'apparaît pas immédiatement en début de pompage mais il ne se produit qu'après un certain laps de temps de pompage. Sur le graphique, ce temps noté  $t_0$  correspond à l'endroit où la droite de rabattement coupe l'axe du temps ; c'est-à-dire là où le rabattement est nul.

En portant ces valeurs dans la formule de Jacob, on a

$$\frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt_0}{Sx^2} = 0 \quad \log \frac{2,25Tt_0}{Sx^2} = 0 \quad \frac{2,25Tt_0}{Sx^2} = 1$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{x^2}$$

✚ Méthode de Theis

En logarithme décimaux, l'équation [1] devient :

$$\log s = \log \frac{Q}{4\pi T} + \log W(u) \quad [1']$$

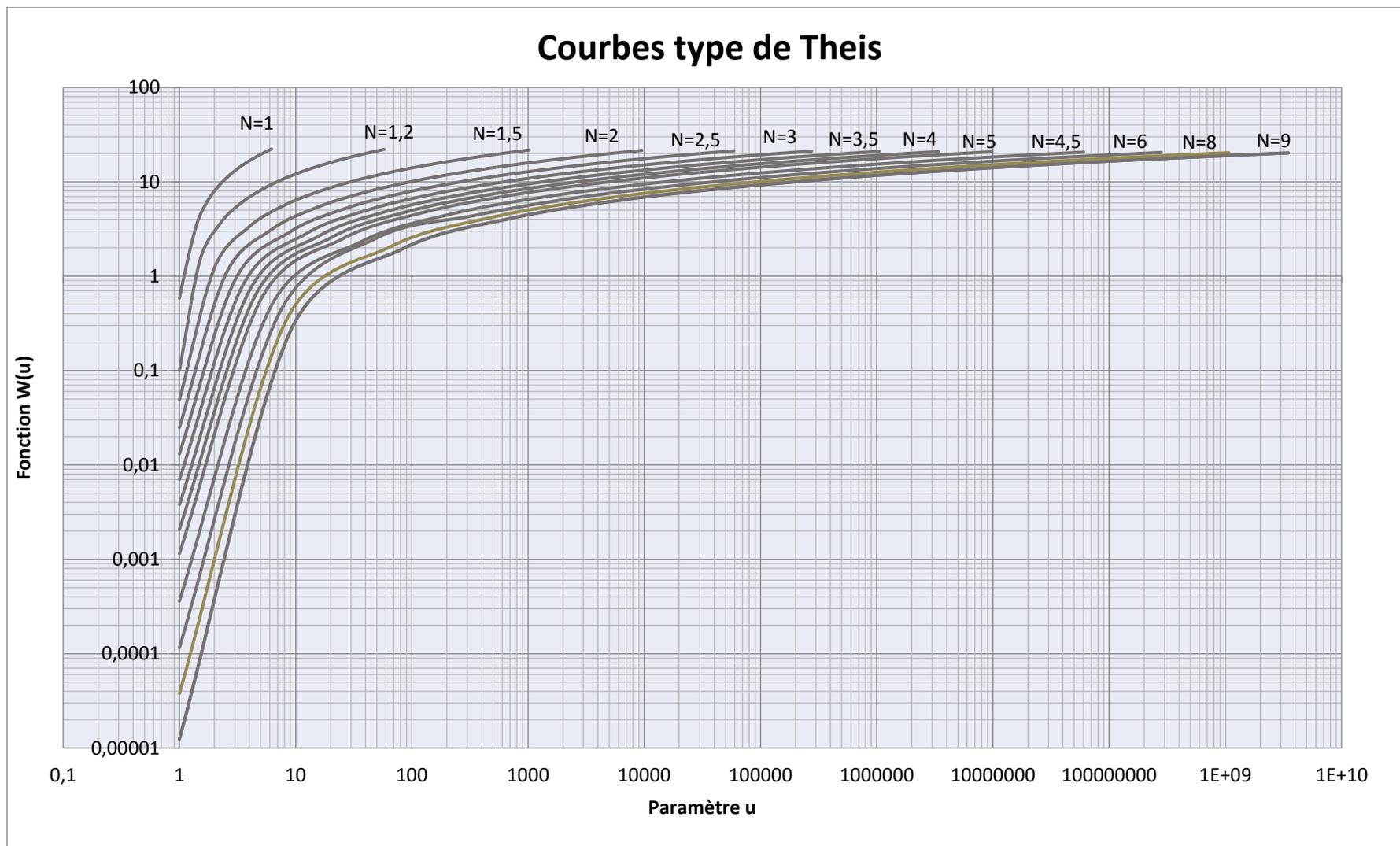
$$\text{Et } \log \frac{x^2}{t} = \log \frac{4T}{S} + \log u \quad [2']$$

La similitude des formules [1'] et [2'] suggère que  $\log W(u)$  varie avec  $\log u$  de la même manière que  $\log s$  varie avec  $\log \frac{x^2}{t}$ . Par conséquent, si les données de l'essai de pompage  $\log s$  sont tracées en fonction de  $\log \frac{x^2}{t}$ , la courbe résultante sera identique à la courbe théoriques  $\log W(u)$  versus  $\log u$  à une translation près. C'est la base mathématique de la méthode graphique proposée par Theis.

La courbe standard est obtenue en reportant sur un diagramme bi logarithmique les valeurs de  $W(u)$  en ordonnée et celles de  $u$  en abscisse. Ces données sont données par une table.

La courbe expérimentale est un diagramme bi logarithmique transparent de même échelle que la courbe standard avec en abscisse les valeurs de  $\frac{x^2}{t}$  et en ordonnée le rabattement en mètre

La courbe type  $\log W(u)$  vs  $\log u$  est superposée sur la courbe des résultats expérimentaux et les paramètres T et S sont trouvés successivement à partir des valeurs de déplacement des axes.



Source : Rapport du BRGM (2<sup>ème</sup> édition), *Interprétation des données de pompage d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères* (1972)

## 6-2 Résultats d'essai de pompage

Nom du projet :	Toliara Sands Project Ranobe 24 Sept 2004 Forage	Profondeur de l'ouvrage :	37m
Nom du site :		Niveau statique :	-23,6m
Date de l'essai :		Débit pompé :	5,6 l/s
Ouvrage :		Temps de pompage :	10h
Code :	RW1	Coordonnées :	X Y
			367073 m 7455080 m

Descente		Remontée	
Temps(min)	NP (m)	Temps(min)	NP (m)
0	23,6	0	31,25
0,5	28,1	0,5	30,8
1	28,2	1	28,7
1,5	30,05	1,5	27,8
2	30,65	2	26,7
3	31,05	3	25,3
5	31,3	5	24,1
7	31,29	7	23,83
9	31,29	9	23,76
10	31,29	10	
12	31,25	12	23,7
14	31,25	14	
16	31,25	16	23,68
18	31,25	18	23,66
20	31,25	20	23,66
25	31,25	25	23,64
30	31,25	30	23,62
35	31,25	35	23,62
40	31,25	40	23,62
45	31,25	45	23,61
50	31,25		
55	31,25		
60	31,25		
70	31,25		
80	31,25		
90	31,25		
100	31,25		
110	31,25		
120	31,25		
130	31,25		
140	31,25		
150	31,25		
160	31,25		
180	31,25		
300	31,25		
360	31,25		
420	31,25		
480	31,25		
540	31,25		
600	31,25		

Source : Rapport CES, Projet Minier de Ranobe (2004)

<b>Nom du projet :</b>	Toliara Sands Project Ranobe 24 Sept 2004 Piézomètres	<b>Point de forage :</b>	<b>TPW1</b>
<b>Nom du site :</b>			
<b>Date de l'essai :</b>		<b>Débit pompé :</b>	50 l/s
<b>Ouvrage :</b>			

Code		360		433-709		789	
Profondeur initiale (m)		1,79		1,3		1,35	
Distance au pompage(m)		504		212		308	
Coordonnées	X (m)	363589		364491		365700	
	Y (m)	7465075		7462106		7457600	
	Temps(h)	Prof NS (m)	Temps(h)	Prof NS (m)	Temps(h)	Prof NS (m)	
	0	1,79	0	1,3	0	1,35	
	0,25	1,87	0,25	1,59	0,5	1,85	
	0,5	1,92	0,5	1,68	1	1,99	
	0,75	2,02	0,75	1,76	1,5	2,2	
	1	2,17	1	1,81	2	2,34	
	1,25	2,26	1,25	1,86	2,5	2,4	
	1,5	2,33	1,5	1,9	3	2,47	
	1,75	2,38	1,75	1,94	3,5	2,51	
	2	2,43	2	1,98	4	2,55	
	2,25	2,47	2,25	2,02	4,5	2,57	
	2,5	2,49	2,5	2,06	5	2,59	
	2,75	2,52	2,75	2,11	5,5	2,61	
	3	2,55	3	2,19	6	2,63	
	3,25	2,57	3,25	2,23	6,5	2,64	
	3,5	2,59	3,5	2,27	7	2,65	
	3,75	2,6	4	2,35	7,5	2,66	
	4	2,61	4,25	2,38	8	2,67	
	4,25	2,63	4,5	2,4	8,5	2,68	
	4,5	2,64	4,75	2,43	9	2,69	
	4,75	2,65	5	2,45			
	5	2,66	5,25	2,48			
	5,25	2,67	5,5	2,49			
	5,5	2,67	5,75	2,5			
	5,75	2,68	6	2,51			
	6	2,69	6,25	2,53			
	6,25	2,7	6,5	2,54			
			6,75	2,55			
			7	2,56			
			7,5	2,58			
			7,75	2,58			
			8	2,59			
			8,5	2,6			
			8,75	2,61			
			9	2,62			
			9,25	2,62			

Source : Rapport SRK, Projet Minier Ranobe (2007)

Code		850		515		737	
Profondeur initiale (m)		1,5		0,93		1,1	
Distance au pompage(m)		105		506		124	
Coordonnées	X (m)	365101		365994		364853	
	Y (m)	7460203		7455600		7461006	
		Temps(h)	Prof NS (m)	Temps(h)	Prof NS (m)	Temps(h)	Prof NS (m)
		0	1,79	0	1,3	0	1,35
		0,25	1,87	0,25	1,59	0,5	1,85
		0,5	1,92	0,5	1,68	1	1,99
		0,75	2,02	0,75	1,76	1,5	2,2
		1	2,17	1	1,81	2	2,34
		1,25	2,26	1,25	1,86	2,5	2,4
		1,5	2,33	1,5	1,9	3	2,47
		1,75	2,38	1,75	1,94	3,5	2,51
		2	2,43	2	1,98	4	2,55
		2,25	2,47	2,25	2,02	4,5	2,57
		2,5	2,49	2,5	2,06	5	2,59
		2,75	2,52	2,75	2,11	5,5	2,61
		3	2,55	3	2,19	6	2,63
		3,25	2,57	3,25	2,23	6,5	2,64
		3,5	2,59	3,5	2,27	7	2,65
		3,75	2,6	4	2,35	7,5	2,66
		4	2,61	4,25	2,38	8	2,67
		4,25	2,63	4,5	2,4	8,5	2,68
		4,5	2,64	4,75	2,43	9	2,69
		4,75	2,65	5	2,45		
		5	2,66	5,25	2,48		
		5,25	2,67	5,5	2,49		
		5,5	2,67	5,75	2,5		
		5,75	2,68	6	2,51		
		6	2,69	6,25	2,53		
		6,25	2,7	6,5	2,54		
				6,75	2,55		
				7	2,56		
				7,5	2,58		
				7,75	2,58		
				8	2,59		
				8,5	2,6		
				8,75	2,61		
				9	2,62		
				9,25	2,62		

Source : Rapport SRK, Projet Minier Ranobe (2007)

Code		296		397-630			
Profondeur initiale (m)		0,46		0,7			
Distance au pompage(m)		720		327			
Coordonnées	X (m)	363011		364231			
	Y (m)	7467187		7463383			
		Temps(h)	Prof NS (m)	Temps(h)	Prof NS (m)	Temps(h)	Prof NS (m)
		0	0,46	0	0,7	34	2,37
		0,5	0,5	0,5	1,05	36	2,38
		1	0,55	1	1,27	40	2,4
		1,5	0,57	1,5	1,43	44	2,42
		2	0,59	2	1,52	48	2,43
		2,5	0,61	2,5	1,58	52	2,45
		3	0,63	3	1,62	56	2,46
		5	0,69	3,5	1,65	60	2,47
		10	0,81	4	1,69		
		15,5	1,05	4,5	1,73		
		20	1,32	5	1,77		
		25	1,49	5,5	1,82		
		30	1,6	6	1,85		
		40	1,73	6,5	1,88		
		50	1,84	7	1,9		
		60	1,91	7,5	1,91		
		76	2,02	8	1,92		
				8,5	1,93		
				9	1,94		
				9,5	1,95		
				10	1,96		
				10,5	1,97		
				11	1,98		
				11,5	1,99		
				12	2		
				12,5	2,01		
				13	2,02		
				13,5	2,03		
				14	2,06		
				15	2,1		
				16	2,14		
				18	2,19		
				20	2,22		
				22	2,25		
				24	2,28		
				26	2,3		
				28	2,32		
				30	2,34		
				32	2,35		

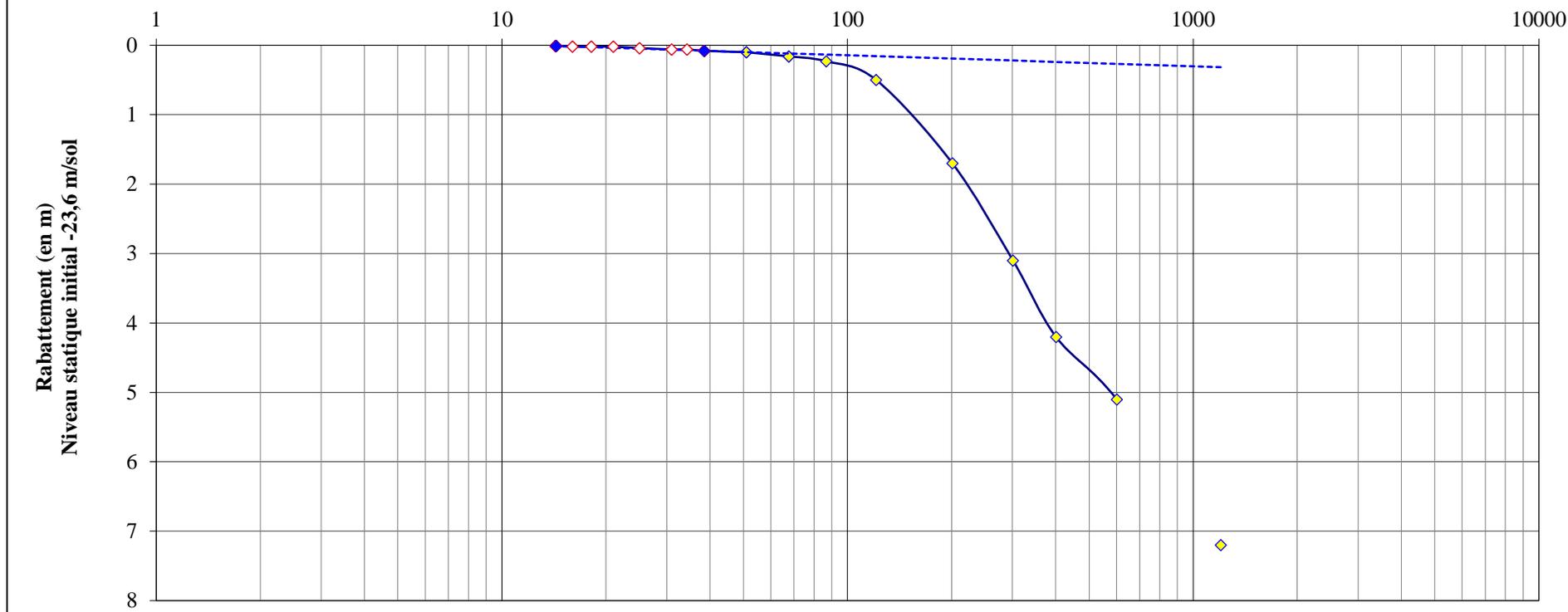
Source : Rapport SRK, Projet Minier Ranobe (2007)

6-3 Courbes d'interprétation par la méthode de Cooper-Jacob



**Toliara Sands Project**  
**Forage RW3 de Ranobe**  
**Pompage longue durée du 24 septembre 04**

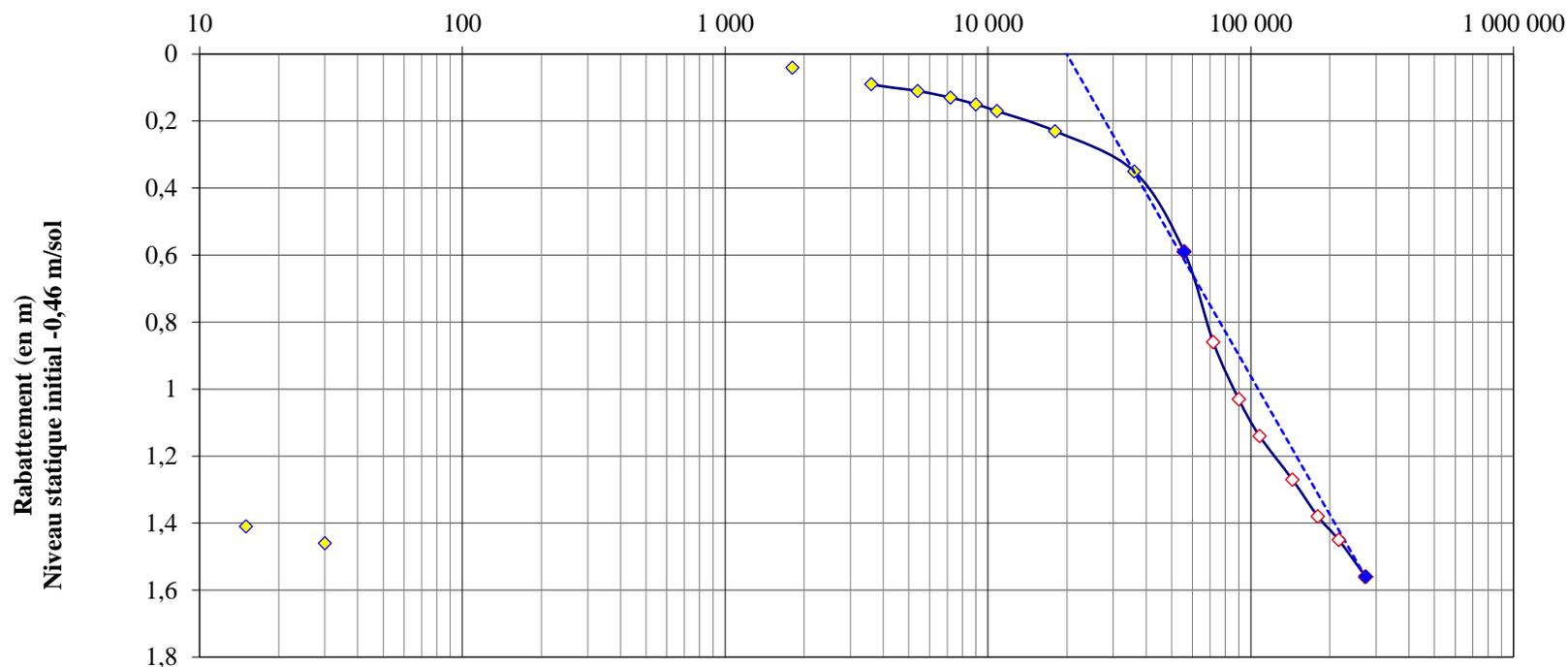
**COURBE DE REMONTEE après 10 heures de pompage à 20,16 m<sup>3</sup>/h.**  
(Temps de pompage + Temps de remontée) / Temps de remontée (échelle logarithmique)



Transmissivité : 6,44E-03 m<sup>2</sup>/s

**Toliara Sands Project**  
**Piézomètre 296 de Ranobe**  
**Pompage longue durée sur TPW1 (à 719 m) du 19 au 21 Avril 07**

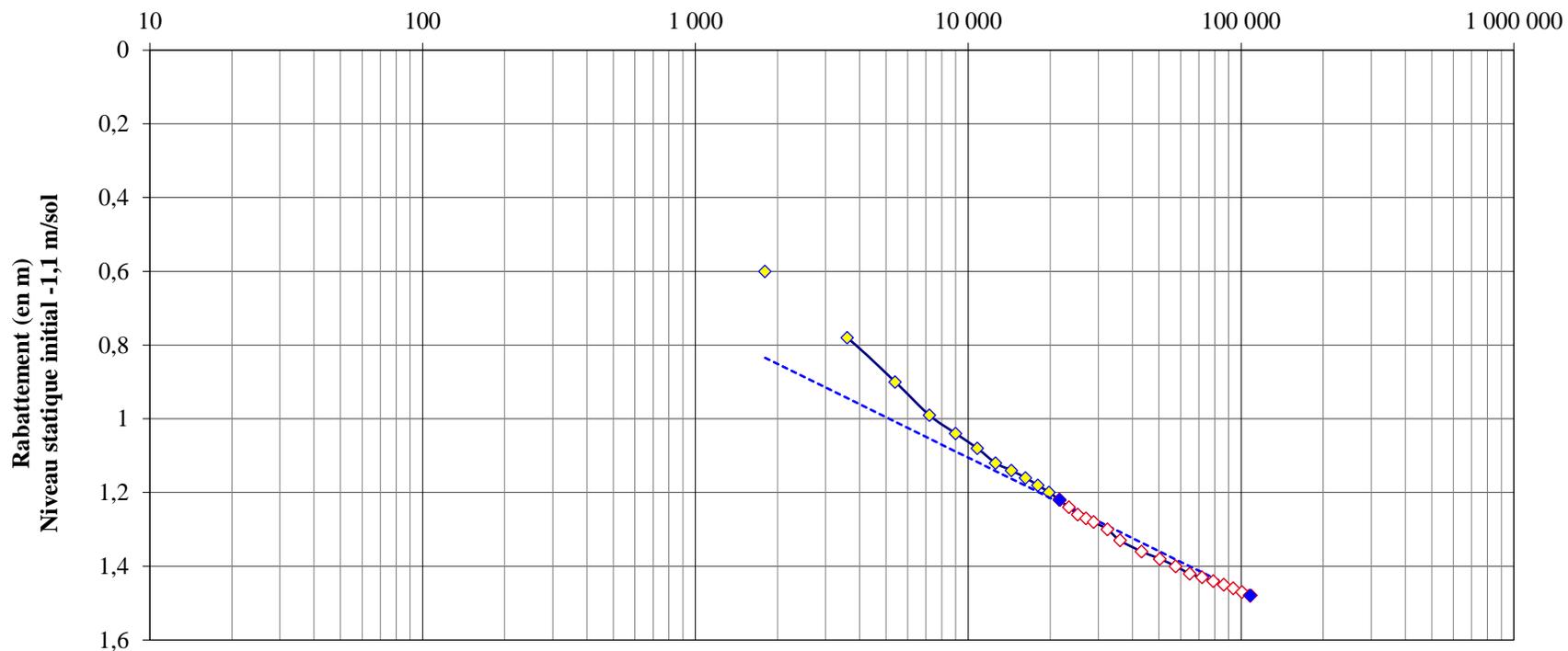
**COURBE DE DESCENTE : 76 heures de pompage à 180 m<sup>3</sup>/h.**  
**Temps en secondes (échelle logarithmique)**



**Transmissivité : 6,67E-03 m<sup>2</sup>/s**  
**Emmagasinement : 5,85E-04**

**Toliara Sands Project**  
**Piézomètre 737 de Ranobe**  
**Pompage longue durée sur TPW1 (à 123 m) du 19 avril 07 au 20 avril 07**

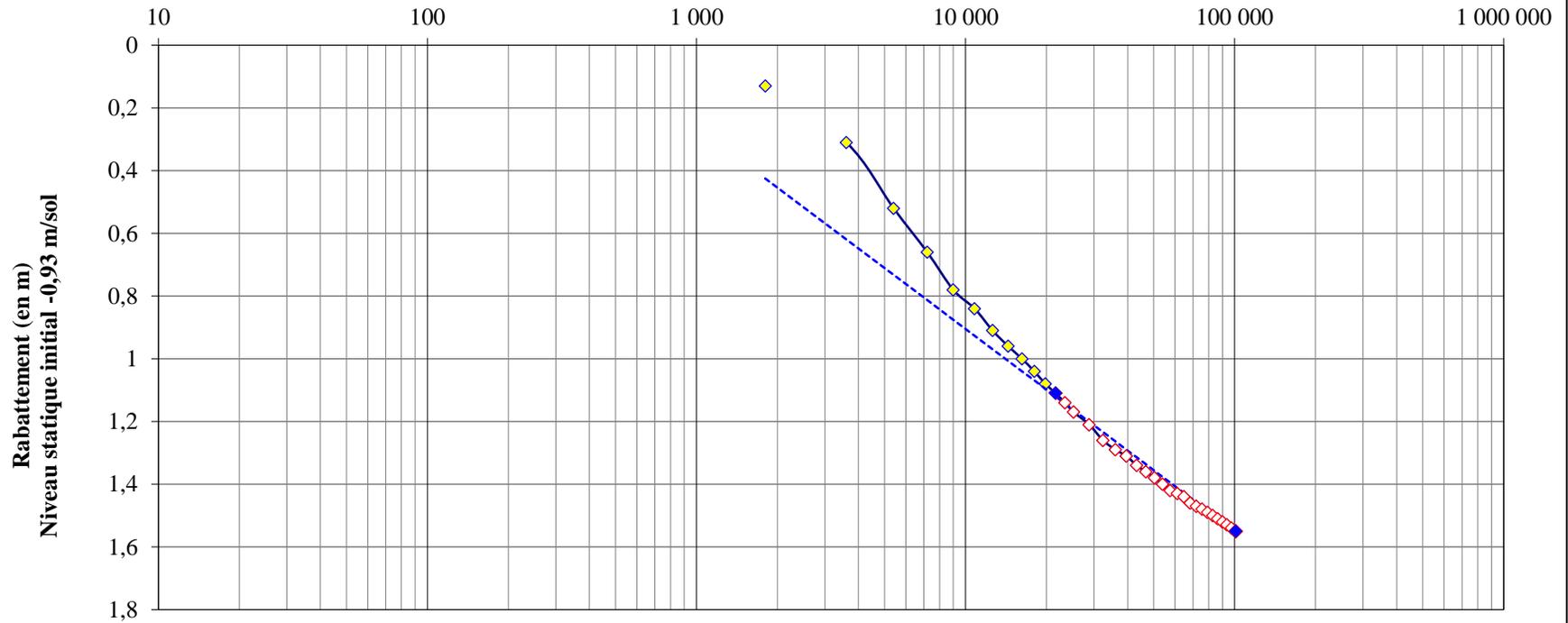
**COURBE DE DESCENTE : 30 heures de pompage à 180 m<sup>3</sup>/h.**  
**Temps en secondes (échelle logarithmique)**



**Transmissivité : 1,09E-02 m<sup>2</sup>/s**  
**Emmagasinement : 4,93E-04**

**Toliara Sands Project**  
**Piézomètre 515 de Ranobe**  
**Pompage longue durée sur TPW1 (à 400 m) du 19 avril 07 au 20 avril 07**

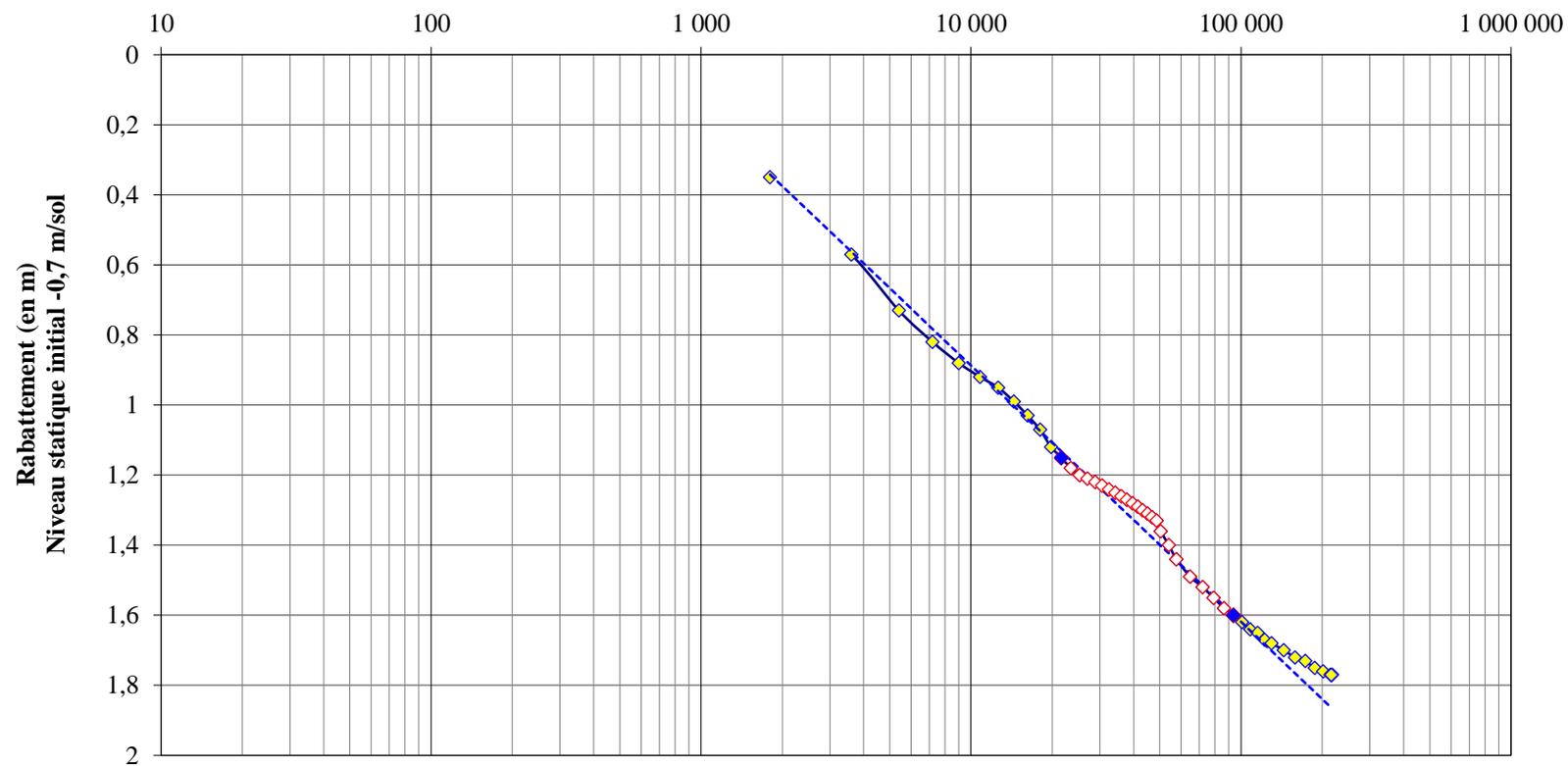
**COURBE DE DESCENTE : 28 heures de pompage à 180 m<sup>3</sup>/h.**  
**Temps en secondes (échelle logarithmique)**



**Transmissivité : 2,30E-02 m<sup>2</sup>/s**  
**Emmagasinement : 1,42E-04**

**Toliara Sands Project**  
**Piézomètre 397-630 de Ranobe**  
**Pompage longue durée sur TPW1 (à 326 m) du 24 septembre 04**

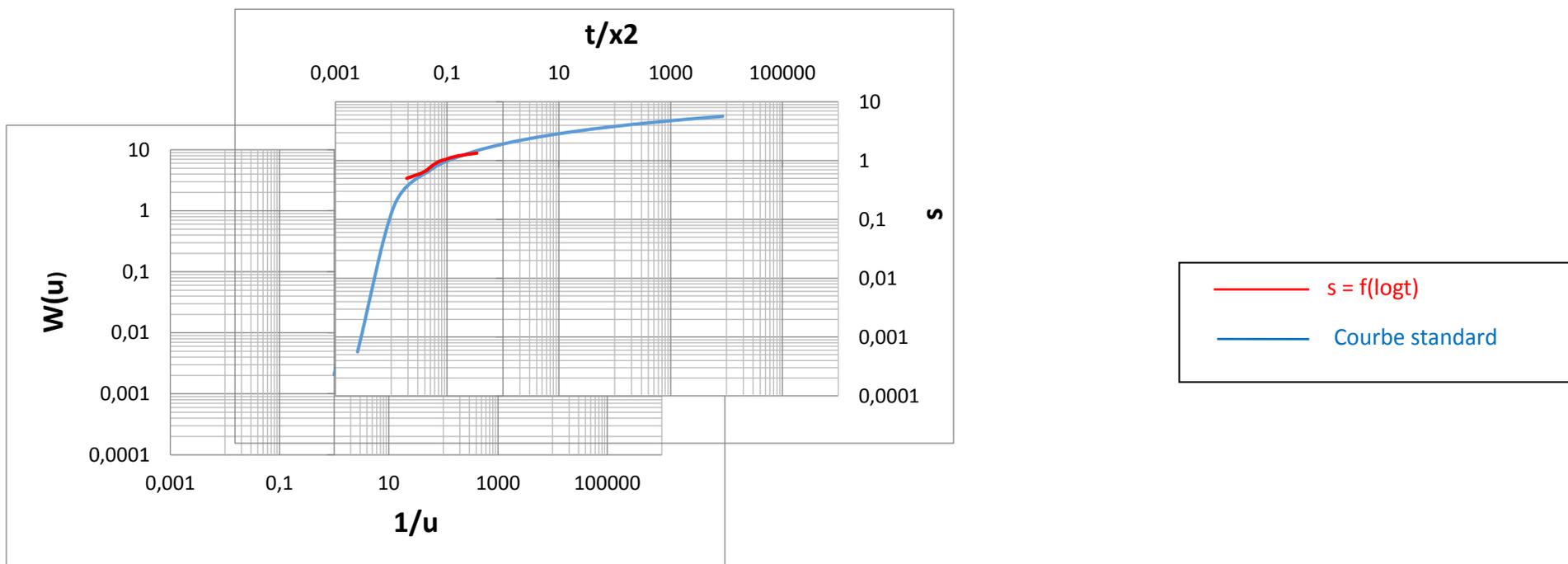
**COURBE DE DESCENTE : 60 heures de pompage à 180 m<sup>3</sup>/h.**  
**Temps en secondes (échelle logarithmique)**



**Transmissivité : 1,25E-02 m<sup>2</sup>/s**  
**Emmagasinement : 1,64E-04**

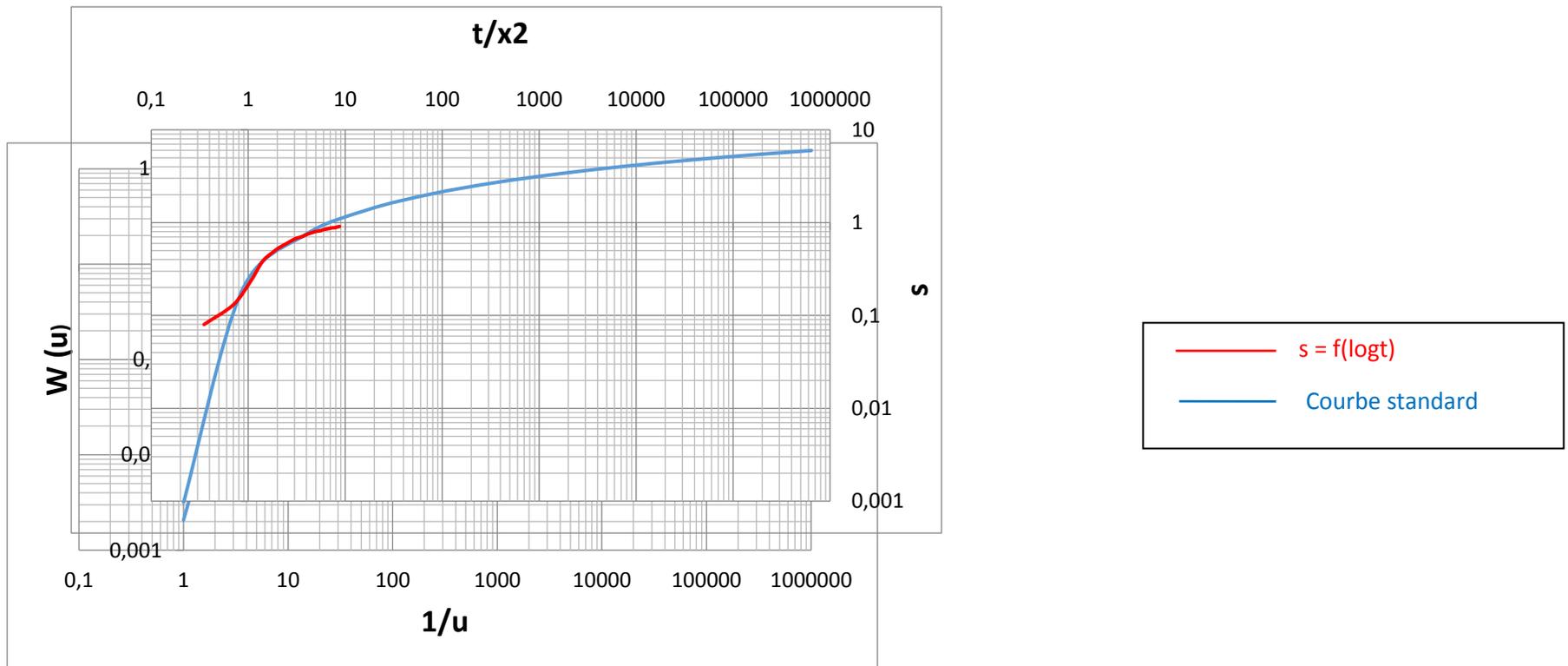
6-4 Courbes d'interprétation par la méthode de Theis

433-709



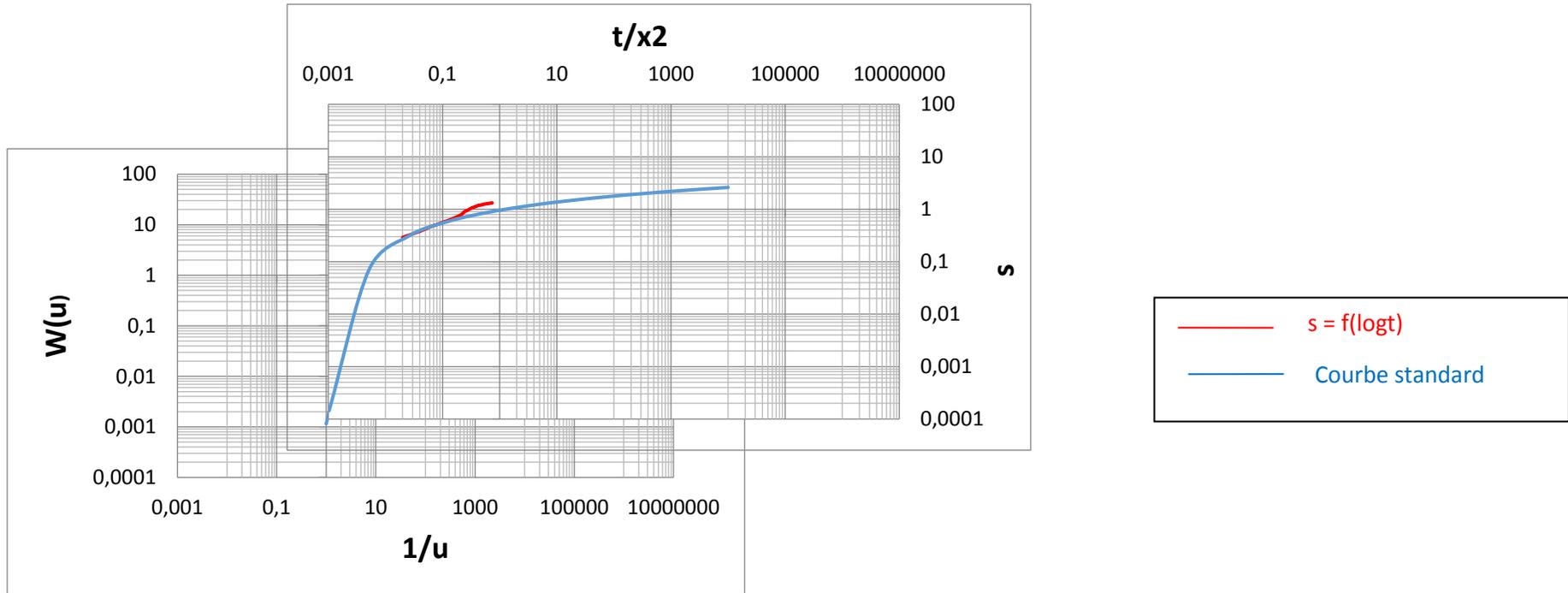
<i>Point de mesure</i>	<i>W(u) [m]</i>	<i>u[m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>s[m]</i>	<i>x<sup>2</sup>/t [m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>T[m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>S</i>
433-709	10	1/10	1	1/0,015	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$2,38 \cdot 10^{-4}$

360



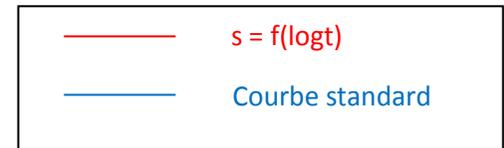
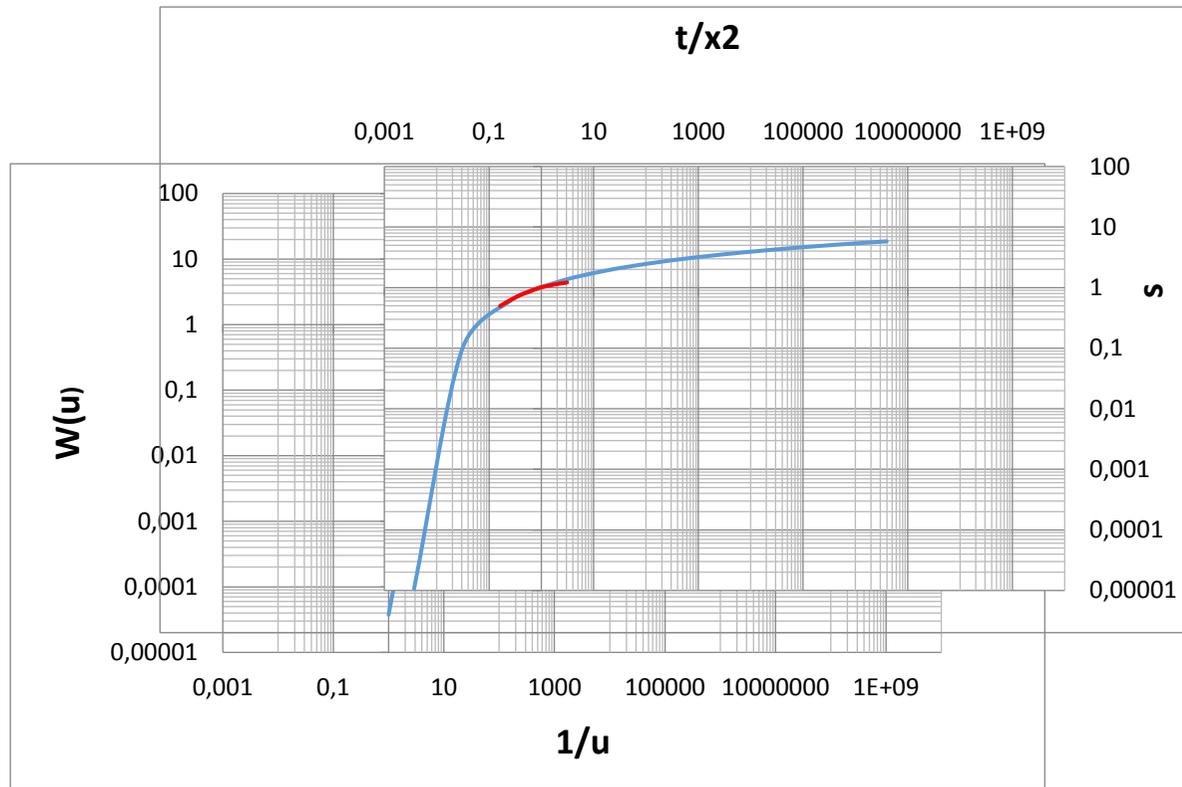
<i>Point de mesure</i>	<i>W(u) [m]</i>	<i>u[m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>s[m]</i>	<i>x<sup>2</sup>/t [m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>T[m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>S</i>
360	1	1/10	0,4	1/0,5	$9,95 \cdot 10^{-3}$	$1,99 \cdot 10^{-4}$

789



<i>Point de mesure</i>	<i>W(u) [m]</i>	<i>u[m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>s[m]</i>	<i>x<sup>2</sup>/t [m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>T [m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>S</i>
789	1	1/1	0,5	1/0,004	7,96.10 <sup>-3</sup>	1,2.10 <sup>-4</sup>

850



<i>Point de mesure</i>	<i>W(u) [m]</i>	<i>u [m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>s[m]</i>	<i>x<sup>2</sup>/t [m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>T[m<sup>2</sup>/s]</i>	<i>S</i>
850	1	1/1	0,4	1/0,002	9,95.10 <sup>-3</sup>	7,96.10 <sup>-5</sup>