

# RESULTATS ESSAIS DE POMPAGE ET MODELISATIONS DU RABATTEMENT DE NAPPE

ESSAI CAR DUMPER - COTE SUD - PUITS MULTIAQUIFERES

Création Futur Terminal Ferroviaire - KAMSAR

INDICE	DATE	DESIGNATION	REDACTEUR
A	03/01/2018	INITIAL	M. PLEUVRET

#### Introduction

Dans le cadre de la construction d'un futur terminal ferroviaire au sein de la province de KAMSAR (GUINEE), nous avons effectué diffèrents rapports d'avant projet et approche de modélisation du rabattement de nappe pour la société en phase d'avant projet.

Dans ces rapports, nous avons bien noté la problématique principale qui est la reprise de la sous pression de l'aquifère sableux Vc.

Afin de valider et ajuster les diffèrents paramètres hydrogéologiques et hydrodynamiques considérés dans nos précédents rapports, nous avons proposé la mise en oeuvre de deux essais de pompage selon la Norme NF EN ISO 22282-4 de Janvier 2014. Deux essais afin de déterminer précisément les caractéristiques de l'aquifères des sables 5c ainsi que celui de l'ensemble 2 - 5a.

Ce rapport vous présente les résultats du second essai effectué (côté Sud) et les conséquences sur le rabattement de nappe en phase chantier.

Chantier	FUTUR TERMINAL								
Entreprise									
Ville	KAMSAR <b>Date</b> 13/10/2017								
Nivellement considérée pour la zone d'étude.									
Nivellement Considéré	Référence type m/TN								
Niveau considérée du TN	100	0							
Niveau considérée pré terrassement	85.5	14.5							
Niveau de nappe Sable Vc considérée à l'étude	97	3							
Niveau de nappe (avec pompage de surface)	87	13							
Niveau du fond de fouille	74	74 26							
Méthode de construction	Talus								
Objectif désiré	70		30						
Dimension de l'ouvrage		135 ml x 27 ml							

Comme indiqué ci dessus et au regard de la géologie du secteur, il a été identifié deux aquifères ou ensemble d'aquifères à savoir :

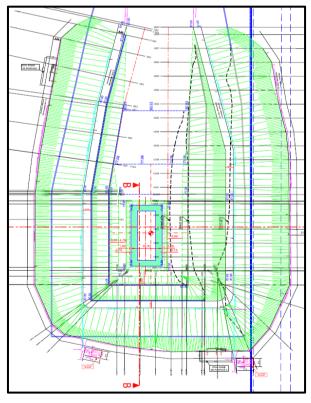
- Aquifères Supérieurs (Regroupant les aquifères 2 à 5a)
- Aquifères Inférieurs des Sables 5c en pression

Afin de pouvoir caractériser ces deux aquifères, nous avons mis en oeuvre des forages dits "courts" ancrés et captant uniquement l'aquifères supérieurs; et des forages dits "longs" ancrés et captant quant à eux uniquement l'aquifères des sables 5c.

## Plans de la construction

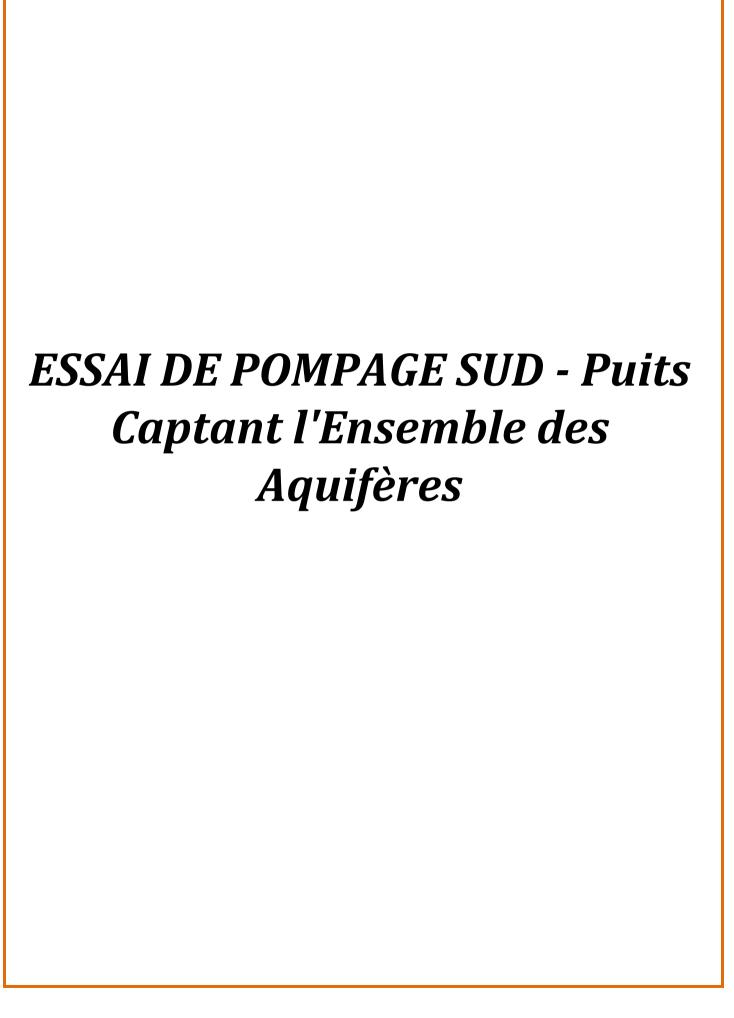
Vous trouverez ci-dessous en Figure 1, le plan du projet fourni dans les documents qui nous ont été transmis ainsi qu'un croquis de l'installation de l'essai de pompage.





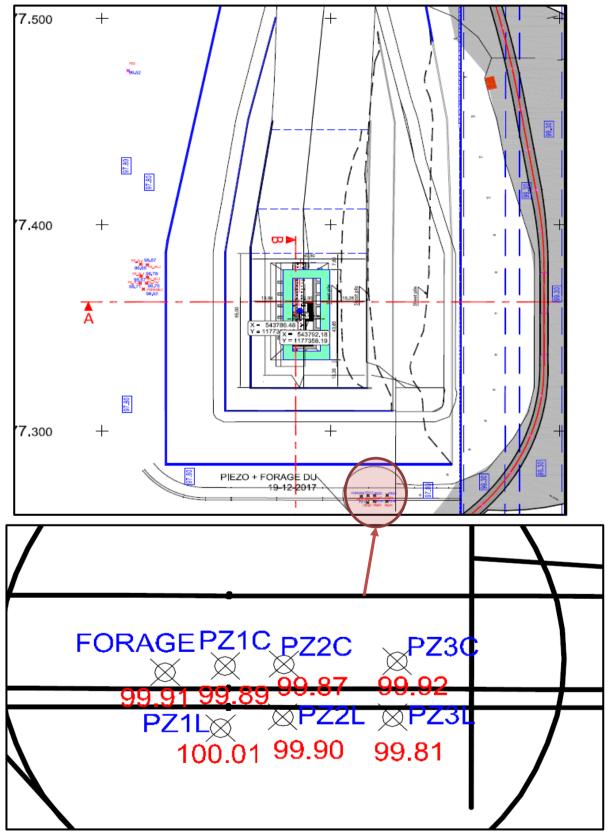


Plans de la zone d'étude



# Plans de localisation des différents Forages

Vous trouverez ci-dessous, le plan de localisation des différents Forages relevés par un géométre.



Plans de la zone d'étude

Afin de diffèrencier l'essai Ouest de l'essai Sud, Les piézomètres de l'essai Sud seront dénommès PZA, PZB et PZC dans la suite du rapport.

# Essai de pompage: Mise en place et résultats

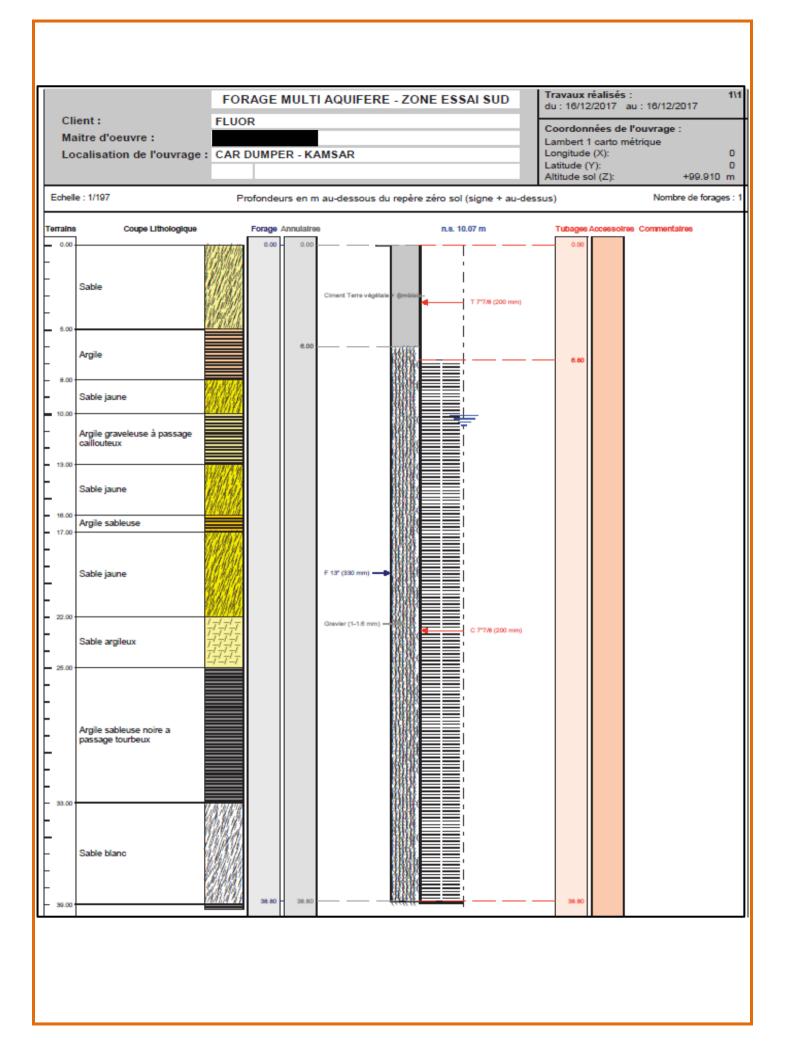
Vous trouverez ci-dessous les diffèrentes coupes de forages de cette zone d'essai.

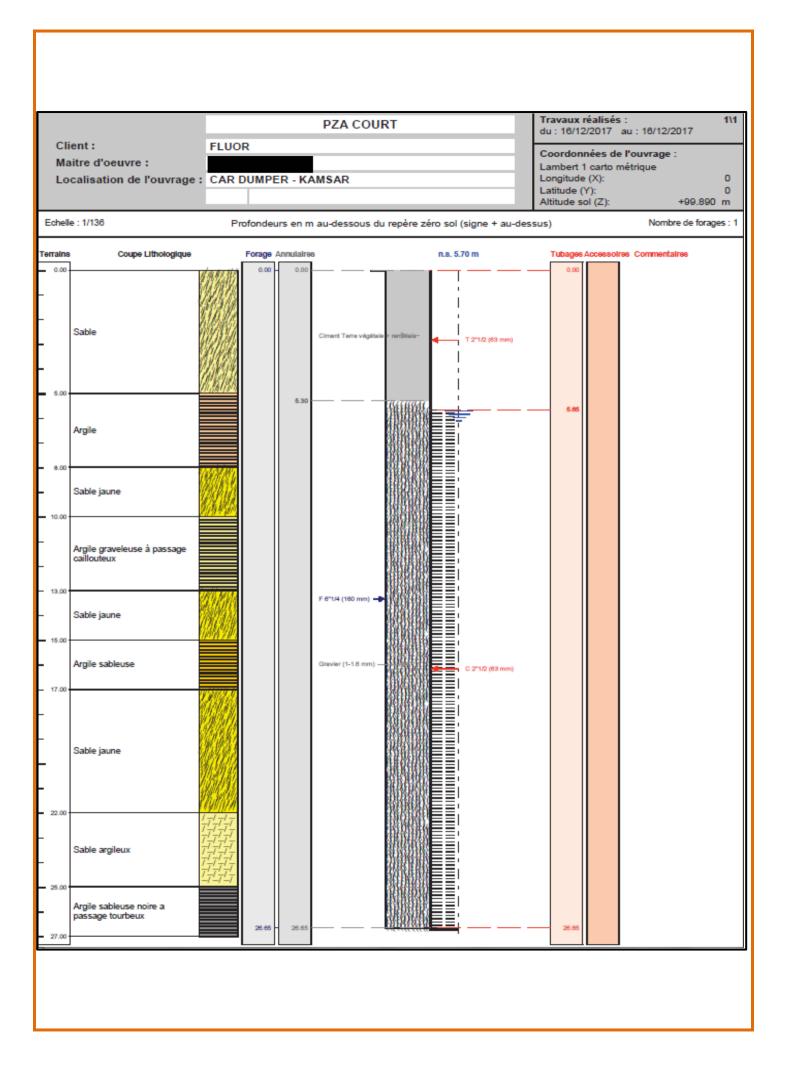
# A) Forages réalisés pour l'essai de pompage.

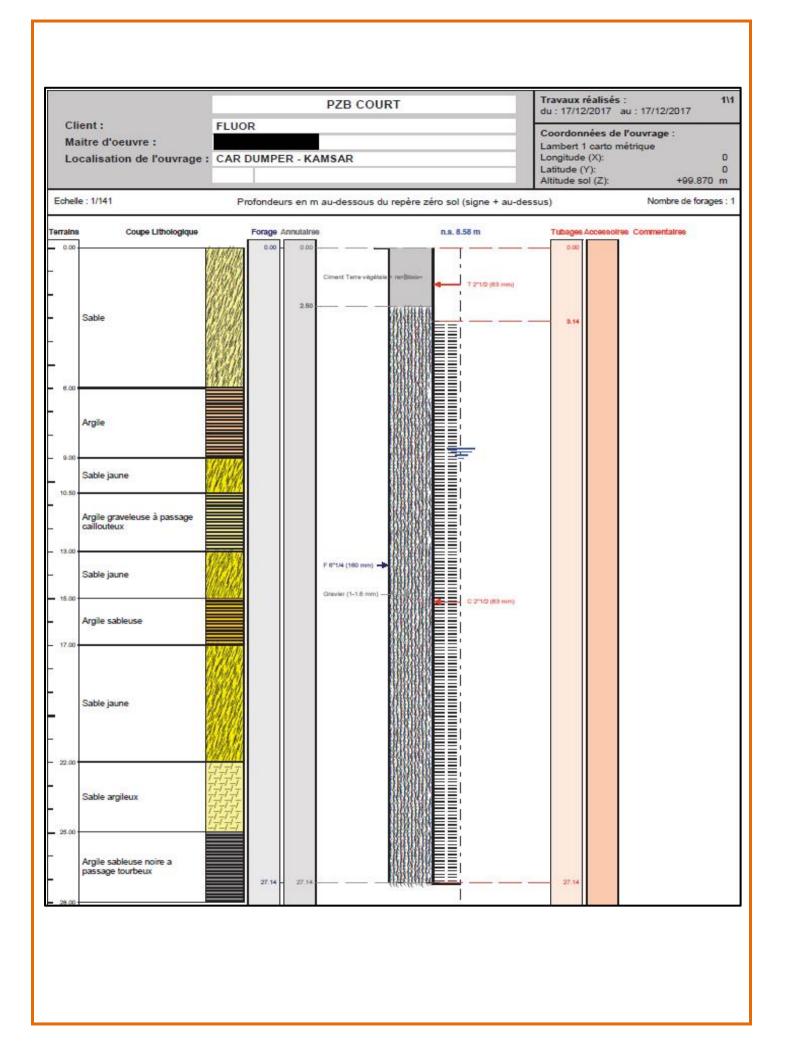
	Puits de pompage (Ensemble Aquifères)							
Nombre Total	1							
Nivellement	Référence	m/TN						
Plateforme de Forage	99.91	0						
Côte d'ancrage	61.11	38.8						
Diamètre de Forage	330 mm							
Equipement		Tube P.V.C Ø 200 mm						
Niveau Crépine		de +61.11 à +93.11						
Ouverture des Crépines		Slot 1 mm						
Matériau Filtrant		Gravier Calibré						
Granulométrie		Ø 1 - 1,6 mm						

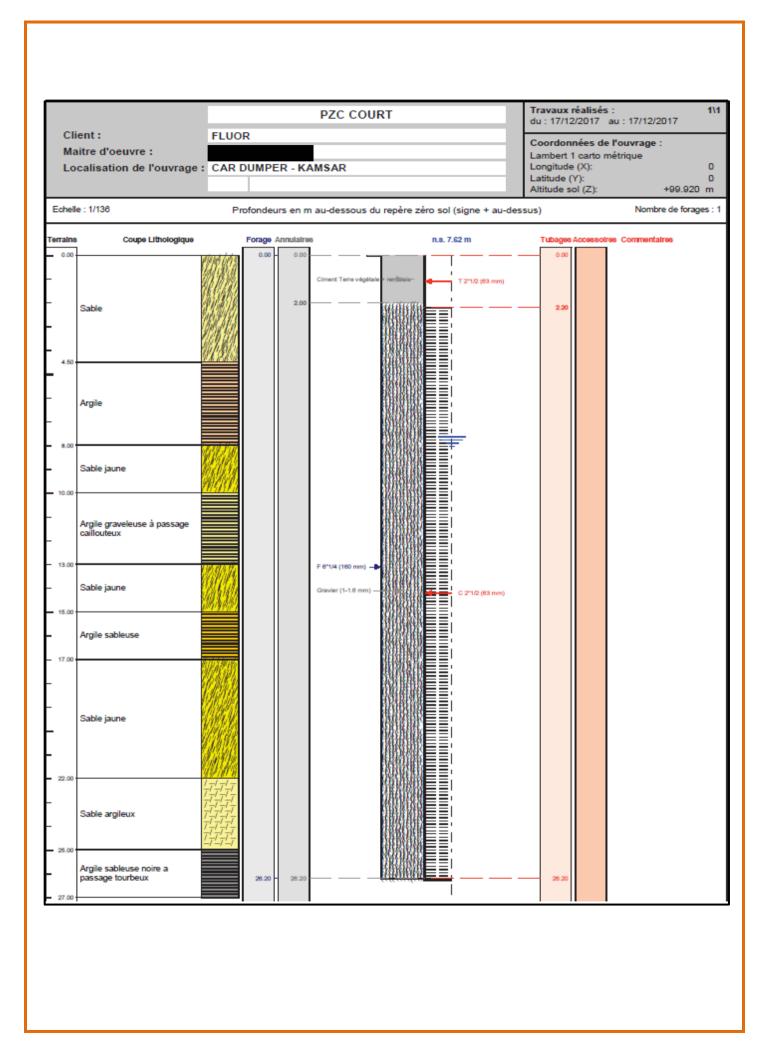
	Piézomètres de surveillance ( Aquifère Sables 5c )						
Nombre Total	3 (PzA L, PZB L, PzC L)						
Nivellement	Ref	m / TN					
Plateforme de Forage	Environ 100	0					
Côte d'ancrage	Entre 61 et 62	Entre 38 m et 39 m					
Diamètre de Forage	160 mm						
Equipement	Tube P.V.C Ø 63 mm						
Niveau Crépine	6 m a p	artir de la base du forage					
Ouverture des Crépines		Slot 1 mm					
Matériau Filtrant		Gravier Calibré					
Granulométrie	Ø 1 - 1,6 mm						
Bouchon d'Argile	2 m	au dessus des crépines					
Type d'Argile		Billes de Sobranite					

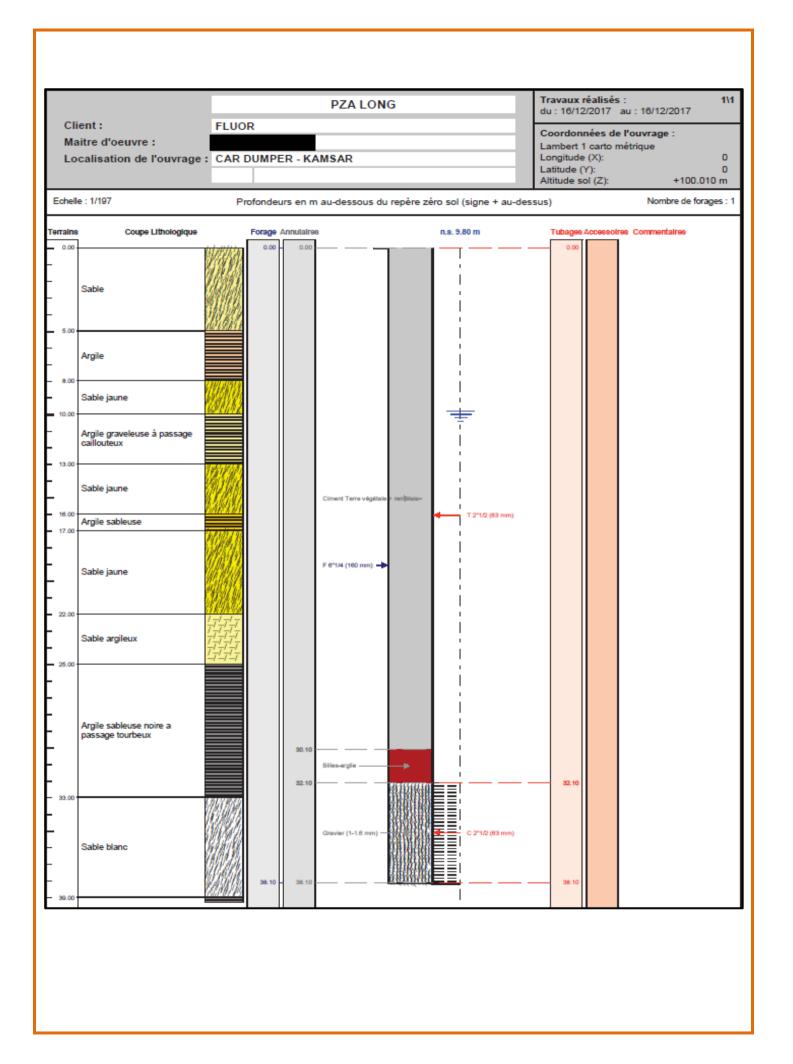
	Piézomètres de surveillance ( Aquifère Sables supérieurs )							
Nombre Total	3 (PzA c, PzB c, PzC c)							
Nivellement	Réf	m / TN						
Plateforme de Forage	99.9	0						
Côte d'ancrage	entre 72.9 et 73.9	Entre 26 m et 27 m						
Diamètre de Forage	160 mm							
Equipement	Т	ube P.V.C Ø 63 mm						
Niveau Crépine	J	Jusque 2 à 3 m / TN						
Ouverture des Crépines	Slot 1 mm							
Matériau Filtrant		Gravier Calibré						
Granulométrie		Ø 1 - 1,6 mm						

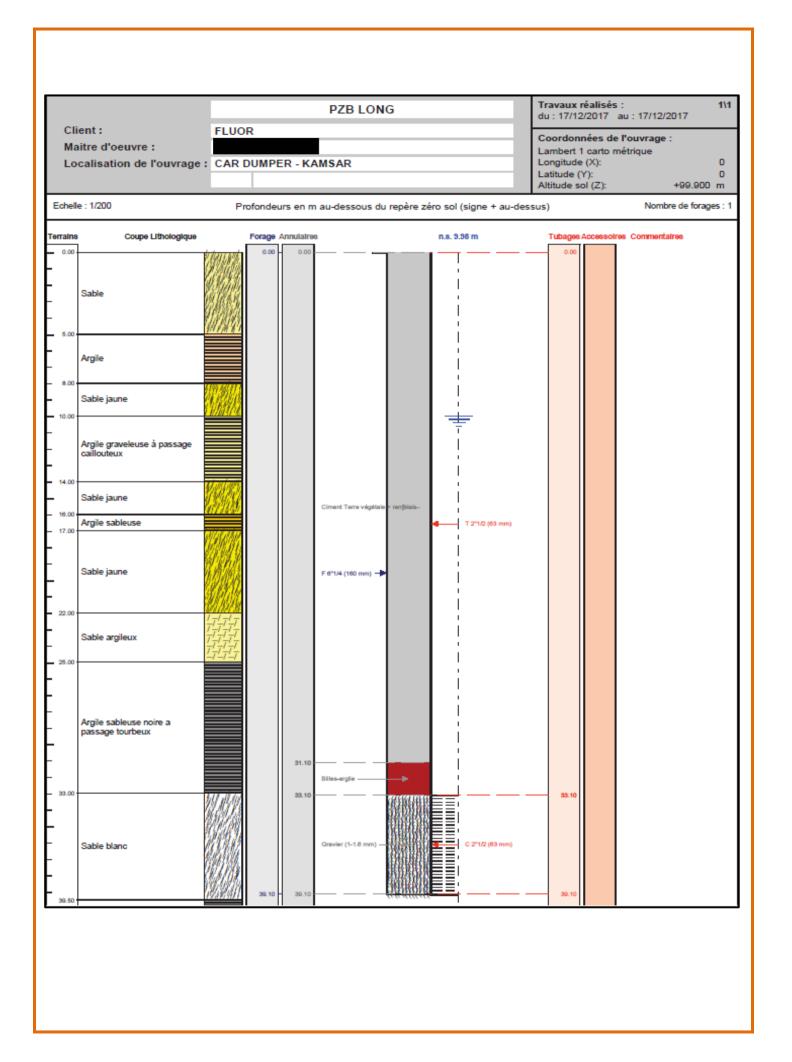


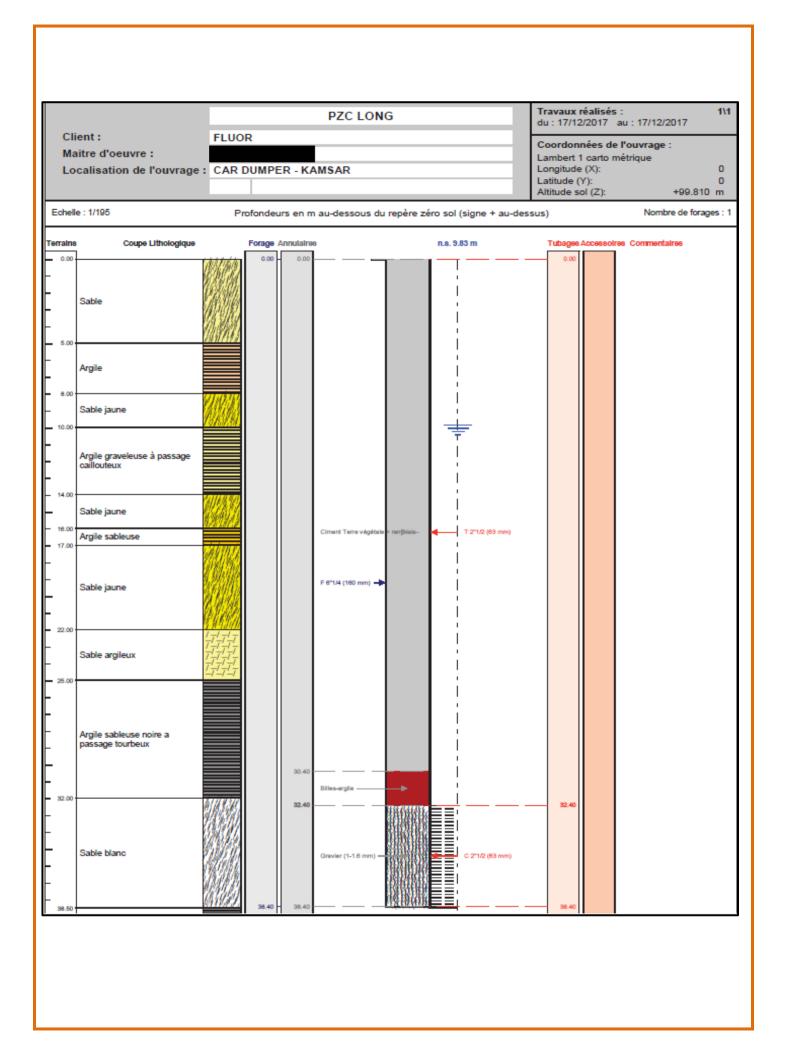












## B) Mise en place de l'essai

Nos équipes sont intervenues le 19 Décembre pour mettre en place les sondes mini DIVER au sein des différents Forages (Puits et Piézomètres).

Ces sondes permettent un enregistrement automatique des pressions d'eau toutes les deux minutes. Ces mesures sont stockées au sein de la mémoire interne de la sonde et sont extraites via une interface informatique.

De plus, une sonde barométrique a été placée à l'air libre sur le Piézomètre n°C Long afin de corréler les valeurs de pressions relevées par les différentes sondes avec les variations naturelles de pression atmosphériques.

Il n'a pas été possible de mettre en place une sonde au sein des cours d'eau avoisinant, malgré notre demande et ceux afin de pouvoir corréler les valeurs de pression relevées par les sondes avec les fluctuations naturelles potentielles de marée.

Enfin, un relevé manuel a été effectué pour contrôler les relevés automatiques.

Vous trouverez ci-dessous, les distances mesurées entre chaque point d'observations ainsi que les fiches d'installations des sondes et de relevés des niveaux initiaux.

CAD DI IMADED

Chantier	CAR DUMPER											
Entreprise												
Ville		KAN	ISAR	Date	19/12/2017							
ERF	F	FICHE PRISE DE DISTANCE ( en m)										
Nom Forages	Puits multi	PZA c	PzA L	РΖВ с	PZB c PzB L		PzC L					
Puits multi		3 m	4 m	5 m 79	6 m 30	11 m 38	11 m 40					
PZA c	3 m		3 m30	/	/	/	/					
PzA L	4 m	3 m30		/	/	/	/					
PZB c	5 m 79	/	/		2 m 80	/	/					
PzB L	6 m 30	/	/	2 m 80		/	/					
PZC c	11 m 38	/	/	/	/		3 m					
PzC L	11 m 40	/	/	/	/	3 m						

Chantier

Chantier	CAR DUMPER							
Entreprise								
Ville	KAMSAR	Date	19/12/2017					



# FICHE INSTALLATION SONDES - Essai avec Puits sables Multi Aquifères

N° Sonde	Nom Forage	longueur du forage	longueur de cable	Niveau tête de Forage					
\$5904	Puits	38.8	38.6	99.91					
W4443	PzA court	26.65	26.5	99.89					
S5916	PzA long	38.1	38	100.01					
V4470	PzB court	27.14	27	99.87					
S5905	PzB long	39.1	39	99.9					
N8546	PzC court	26.2	26.1	99.92					
V4446	PzC long	38.4	38.3	99.81					
W4442		PZC long							

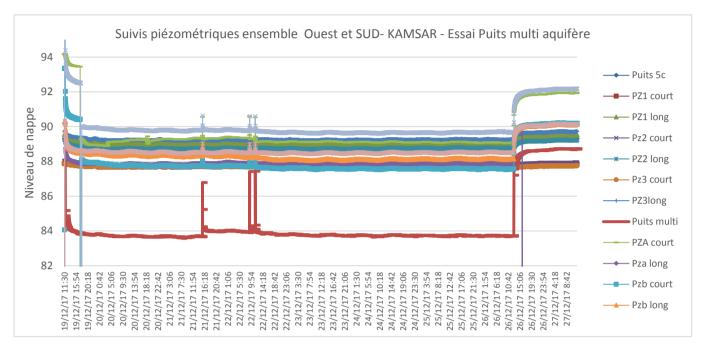
# La phase d'essai s'est déroulée tel que défini ci dessous:

- Essai de pompage au débit de 45.3 m3/h :
  - . Démmarage de l'essai le 19 Décembre 2017 a 10 h 51 ( Heure locale)
  - . Arrêt du pompage le 26Décembre 2017 a 12 h 00 (Heure locale)
  - . Débit de pompage moyen =  $45,3 \text{ m}^3/h$

# C) Courbes de suivi Piézométriques et analyses des rabattements

Vous trouverez ci-dessous les courbes de suivi piézométrique concernant les essais de pompages. Ces courbes ont été compensés avec la sonde barométrique.

### Suivi piézomètrique - Ensemble données - OUEST et SUD



#### Suivi piézomètrique - Données Zone SUD



Au regard de ces courbes de suivi piézomètrique, nous observons plusieurs points :

- Les niveaux de nappe statique des piézomètres courts côté Sud sont hétérogènes. Nous estimons que le terrassement actuel inclus le pompage en fond de fouille génére un rabattement de nappe sur l'ensemble des aquifères supérieurs.
- Un rabattement est constatable au sein de l'ensemble des piézomètres et du puits de la zone Ouest. Cela signifie que l'essai a engendré un cône de rabattement sufisant au sein des diffèrents aquifères (profonds et superficiels) et ceux malgré la présence des palplanches existantes.
- Un phénomène d'ondulation hydrogéologique (marée ?) est observable plus distinctement sur cette essai que sur celui côté Ouest et ceux sur l'ensemble des forages équipés.

Pour la caractérisation des aquifères supérieurs à la couche 5b, seul les donnèes des forages de l'essai Sud seront exploitées.

Il sera considéré que la couche de sable blanc 5c est homogène et que ses carcactéristiques sont semblables au résultats de l'essai de pompage sélectifs de la zone Ouest à savoir :

Couches considérées	Transmissivité (m²/j)	Perméabilité moyenne considéré (m/j / m/s)	Coefficient d'emmagasinement	
<u>Aquifères 5c</u>	135 m²/jr	$27 \text{ m/jr} = 3,13 \times 10^{-4} \text{ m/s}$	7.77E-05	

En effet, un léger ajustement de ces réusltats pourra être réalisé pour une meilleur interprétation de ceux de l'essai côté Sud.

#### Détermination des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères supérieurs à 5b.

L'interprétation de l'essai de pompage et la détermination des paramètres hydrogéologiques de l'aquifère sont effectués avec un logiciel spécialisé pour les essais de pompage dénommé MLU.

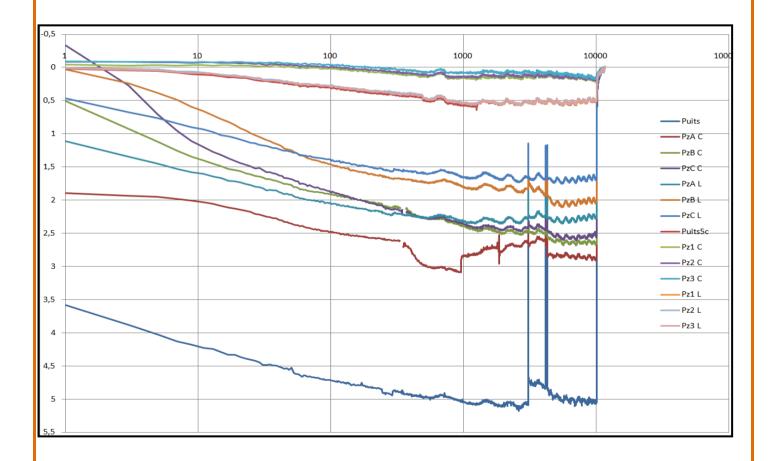
Cette interprétation peut être réalisée de deux manière différentes avec MLU.

La première est de considérer chaque piézomètre indépendamment l'un de l'autre. Cette méthode est une approche hydrogéologique ponctuel.

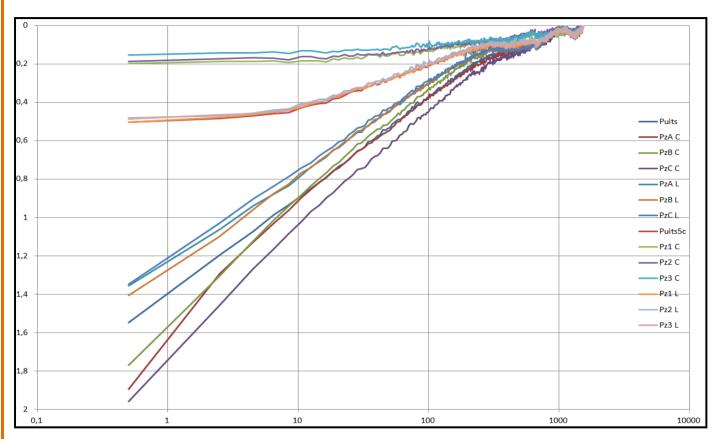
Au regard de la méthode de l'essai de pompage (puits crépiné tout hauteur sans bouchon injectée), il n'est pas possible d'effectuer une analyse piézomètre par piézomètre car la distribution des débits par couche n'est pas connu.

La seconde consiste à considérer la globalité des rabattements constatés dans chaque piézomètre et de définir un paramètres globals pouvant correspondre à l'ensemble des rabattements constatés sur les diffèrents piézomètres. Cette méthode est une approche hydrogéologique plus global. Néammoins du fait de l'hétérogénéité naturel des sols en place, les résultats obtenus sont quelquefois moins précis que la première méthode.

Vous trouverez ci-dessous les rabattements au sein des forages utilisés comme piézomètres uniquement sur la phase de l'essai et mis en œuvre sur un graphique logarithmique.

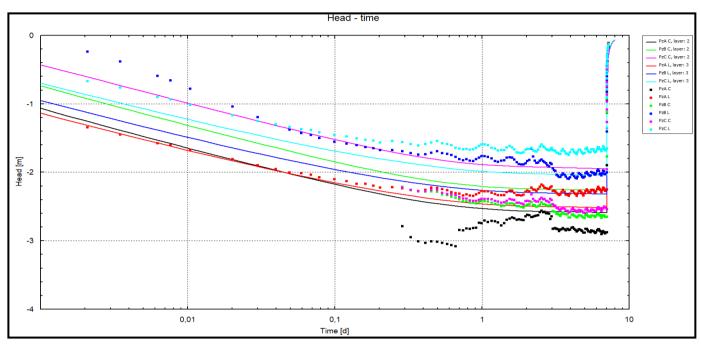


# Rabattement de la phase de remontée de l'essai de pompage



# A) Interprétation Global pour l'essai de pompage côté Sud

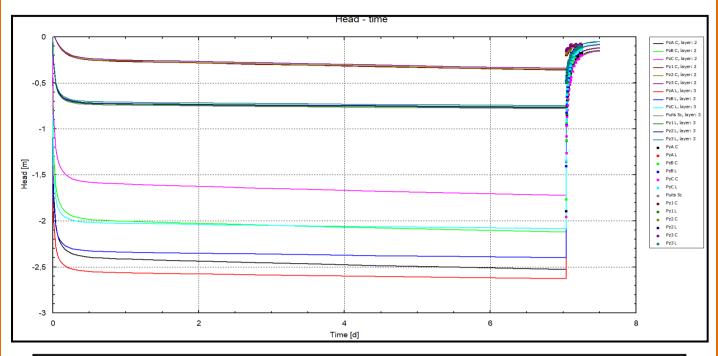
Vous trouverez ci-dessous l'interprétation et le résultats obtenues par le logiciel MLU pour la globalité d'un essai. Ces résultats s'affichent sous forme de deux courbes. La première en pointillé, correpond aux données réelles obtenues par les sondes mini DIVER lors de l'essai. La seconde en trait plein, correspond à la courbe calculée et optimisée par le logiciel MLU.



Aquifer	Base [m]	Thickness [m]	Kv [m/d]	Code	c [d]	#	Code	S' [-]	#	Name
	97,9	0,1	0,0001	c1	1000		S'1	0		
1	94,5	3,4	1,470588	T1	5		S1	0,05		Sable, couche 1
	82	12,5	0,0125	c2	1000		S'2	0		argile, couche 4a+4b
2	79	3	80,53047	T2	241,5914	b	S2	0,000463	С	sable jaune, couche 5a
	67	12	0,01	c3	1200		S'3	0		argile, sable argileux, couche 5b
3	62	5	27	T3	135		S3	0,000259	d	sable blanc, couche 5c
	60	2	0,002	c4	1000		S'4	0		bedrock

Nous observons des écarts entre les données réelles de rabattement et l'optimisation du logiciel. Afin de pouvoir obtenir des résultats plus fiable, nous avons incorporer les données de rabattement observées côté Ouest.

#### Phase remontée uniquement



Aquifer	Base [m]	Thickness [m]	K [m/d]	Code	T [m²/d], c [d]	#	Code	S [-]	#	Name
	97,9	0,1	0,0001	c1	1000		S'1	0		
1	94,5	3,4	7,352941	T1	25		S1	0,1		Sable, couche 1
	82	12,5	0,125	c2	100		S'2	0		argile, couche 4a+4b
2	79	3	52,51381	T2	157,5414	b	S2	0,00199	d	sable jaune, couche 5a
	67	12	0,01	c3	1200		S'3	0		argile, sable argileux, couche 5b
3	62	5	30	Т3	150		S3	0,000069	С	sable blanc, couche 5c
	60	2	0,002	c4	1000		S'4	0		bedrock

Les résultats d'optimisation du logiciel MLU sont plus proches des résultats réelles dans ce

# **B)** Conclusions

Vous trouverez ci-dessous un tableau synthètique des résultats obtenues par interprétation des données des essais de pompage par le logiciel MLU ©

# Essai de pompage - Côté Sud - Puits multiaquifères

Essai de Pompage côté Sud - Puits multiaquifère.										
Faciès	Transmissivité si Perméabilité si épaisseur épaisseur saturée (m/jr)  Perméabilité si épaisseur saturée (m/jr)  saturée (m/s)		Résistance verticale (jours)	Coefficient d'emmagasinement						
Couche Hors nappe	/	1.00E-04	1.16E-09	1000	/					
Couche sable 1	25.00	7.35	8.51E-05	/	1.00E-01					
Couche 2,3,4a+4b argile	/	1.25E-01	1.45E-06	100	/					
Couche 4b sable + 5a	157.54	52.51	6.08E-04	/	1.99E-03					
Couche 5b	/	1.00E-02	1.16E-07	1200	/					
Couche 5c	150.00	30.00	3.47E-04	/	6.90E-05					
Bedrock	/	2.00E-02	2.31E-07	1000						

cas.

#### Paramètres du Modèle

Afin d'effectuer la modélisation du débit d'exhaure en phase chantier ainsi que du dimensionnement du rabattement de nappe, nous avons procéder à la modélisation du rabattement de nappe aux éléments finis via le Logiciel MICROFEM ©.

Pour ce faire, nous avons considérer la coupe géologique et les paramètres hydrogéologiques présent ci dessus

# Paramètres et Caractéristiques du Modèle

#### Logiciel

. Le logiciel de Modélisation utilisé est le logiciel MICROFEM ©, logiciel aux élément finis avec maillage pour les aquifères types multicouches.

Les calculs sont basé sur le principe de superposition. Avec ce principe, la réaction du système causé par le rabattement est calculé. Les calculs sont effectuées en régime transitoire.

#### Maillage

. Au niveau du projet, les mailles sont triangulaires de côté 2m par 2 m. Sur toute la surface du projet, les mailles sont identiques.

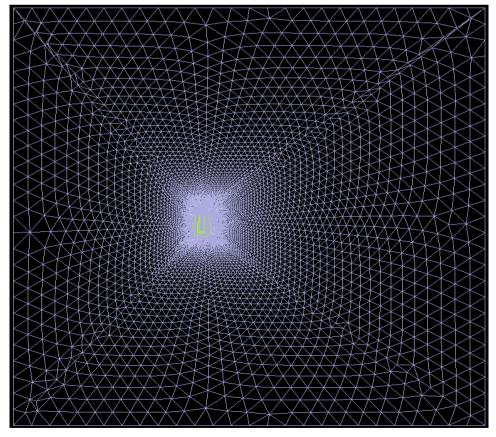
A la limite du modèle les mailles sont des triangles de 200 m de côté.

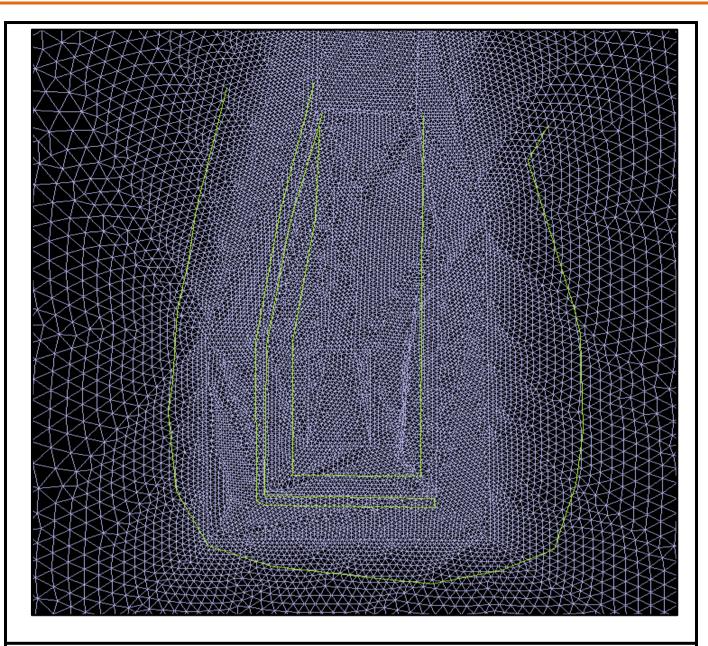
#### **Condition aux limites**

. Les conditions aux limites sont le potentiel imposé. La distance au limite est choisi telle que la distance du modèle correspond à deux fois le rayon d'influence du rabattement. Au limite du modèle le niveau d'eau est fixé égale au niveau statique.

#### **Extension Horizontale**

. Le modèle utilisé est assimilé à un carré de 5 km de côté. Vous trouverez ci-dessous une vue d'ensemble du modèle ainsi qu'un zoom sur la zone d'étude.





Dans le modèle, les palplanches sont considérées:

- Le premier rideau de palplanches (le plus à l'extérieur depuis le TN) n'a pas d'influence sur le rabattement de nappe car il est ancré peu profondemment. Ancré à 88.30.
- Le second rideau de palplanches (depuis la plateforme 87) est quant à lui considéré ancré à la côte 62.

Il n'isole pas complétement l'aquifère des sables fins Vc mais à un effet barrière. Nous avons considérer dans le modèle qu'ils pénétrent 85 % de la couche des sables Vc. De plus côté Est du chantier, les rideaux de palplanches ont subi des désordres suite au glissement de terrain Afin de prendre en compte ce glissement, nous avons considéré dans le modèle que les palplanches pénétrent 70 % dans l'aquifère des sables Vc sur les zones de glissements.

#### Piézométrie et masses d'eau

Concernant les masses d'eau avoisinantes (Canal, Rivière, Océan), ceux ci n'ont pas été considéré dans le modèle pour le moment.

Le niveau de nappe est considéré à +95. pour considérer une augmentation de recharge du modèle, une résistance verticale de 1500 jours est pris en compte au top du modèle.

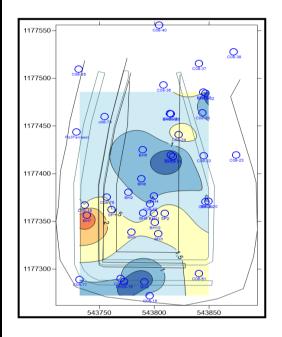
#### **Extension Verticale**

Dans le modèle, nous avons considérée les diffèrents sondages et profils fournies par TERRASOL afin de créer un modèle géologique conforme à la réalité. Pour ce faire, nous avons imputer pour chaque sondage géologique fourni la coupe correspondante et son emplacement sur la zone d'étude. Au final nous obtenons un modèle géotechnique conforme au site.

Vous trouverez ci dessous les diffèrentes cartes d'épaisseur des faciès, relatifs au diffèrents aquifères considérées, au regard du modèle obtenu:

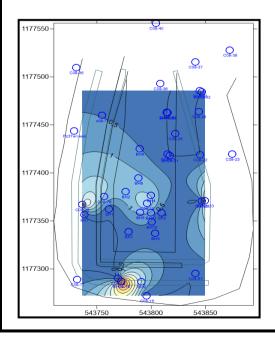
Couche 1: Hors nappe

Aquitard 1 : Couche 2

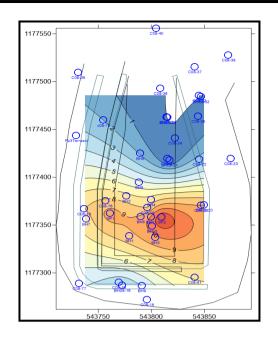


<u>Aquifère 1 : Couche 3 - sable moyen à lâche</u> <u>Carte d'épaisseur du faciès considérée dans le modèle</u>

Aquitard 2 : Couche 4a : Argile limoneuse

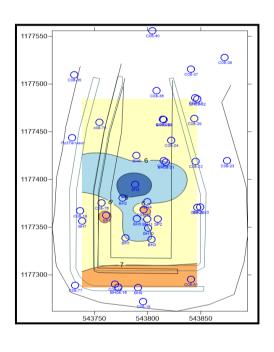


Aquifère 2a : Couche 4 b -Argile à veines sablo graveleuses Carte d'épaisseur du faciès considérée dans le modèle



Aquifère 2b : Couche 5 a - Sable moyen a dense Carte d'épaisseur du faciès considérée dans le modèle

Aquitard 3: Couche 5b: Argile tourbeuse plastique noir



Aquifère 3 : Couche 5 c - Sable blanc en pression Carte d'épaisseur du faciès considérée dans le modèle

Substratum Etanche: Couche 6: Bedrock

#### Modélisation du rabattement de nappe.

Paramètres hydrodynamiques considérées dans le nouveau modèle			
Essai de Pompage côté Sud - Puits multiaquifère.			
Faciès	Transmissivité considérée dans modèle (m²/jr)	Résistance verticale (jours)	Coefficient d'emmagasinement
Couche Hors nappe	/	1000	
Couche 3s	10*	/	1.00E-01
Couche 4a+4B	/	100	
Couche 4bs + 5a	Variable de 200 à 50*	/	2.00E-03
Couche 5b	/	1200	
Couche 5c	135	/	7.70E-05

Nous rappelons que les calculs sont effectués en régime transitoire.

\* : La transmissivité des aquifères 3s et ensemble 4bs+5a est variable dans le temps, en effet lors du rabattement de nappe l'épaisseur de l'aquifère varie. La transmissivité étant dépendant de l'épaisseur saturé de l'aquifère, celle-ci varie également. De plus ces aquifères ont une épaisseur hétérogène sur l'ensemble de la zone d'étude, de fait la transmissivité diffère.

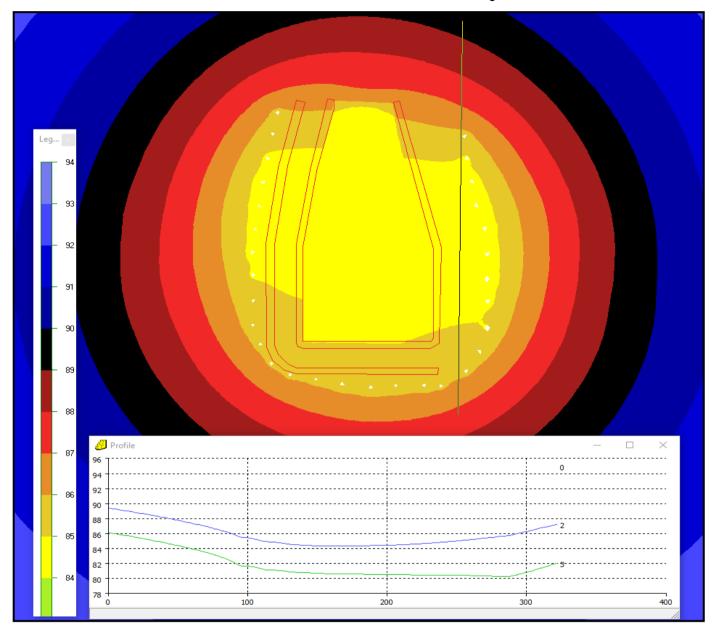
Concernant la transmissivité de la couche 5c, elle est fixe car l'épaisseur de cette aquifère est quasi constant et continuellement saturé durant le rabattement de nappe.

Comme indiqué un peu plus haut, la nappe statique a été considéré à 95 au regard du suivi piézomètrique.

Pour chaque modèle réalisé, vous trouverez une coupe sur lequel figure deux courbes:

- Courbe verte = Courbe de rabattement de l'aquifère 4b + 5a.
- Courbe bleu = Courbe de rabattement de l'aquifère 5c.

# MODELISATION - 1 ERE PHASE -RABATTEMENT DESIRE A +80 POUR L'AQUIFERE 5C

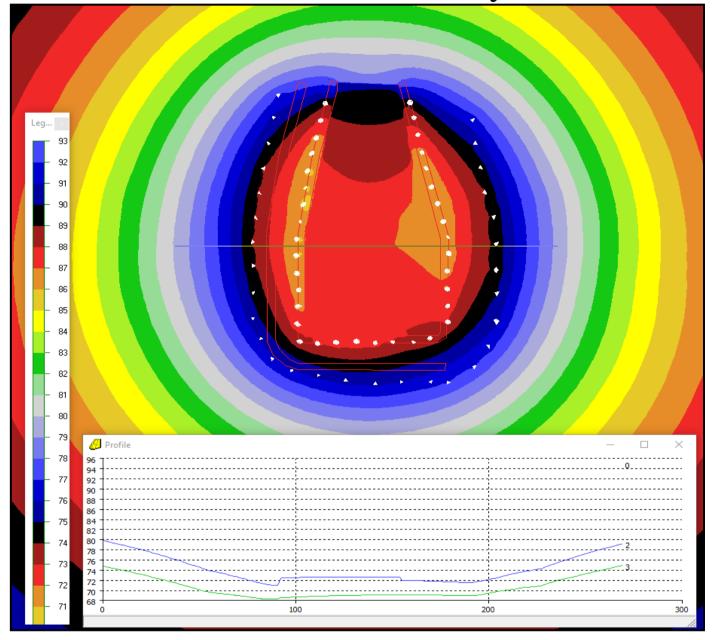


Avec les nouveaux paramètres du modèle issus des essais de pompage, la mise en œuvre d'un débit global de 540 m3/h répartie de la manière suivante :

- 30 puits ancré à 61 depuis le TN ( débit par puits de 15 m3/h)
- Pompage de surface complémentaire pour reprise des arrivèes d'eaux d'écoulement fissurales de 90 m3/h à mettre en oeuvre dans l'excavation

permet de rabattre l'aquifère des sables 5c à la côte +81 et l'aquifère 4b + 5a à la côte +85.

# *MODELISATION - 2 EME PHASE - RABATTEMENT DESIRE A +70 POUR L'AQUIFERE 5C*



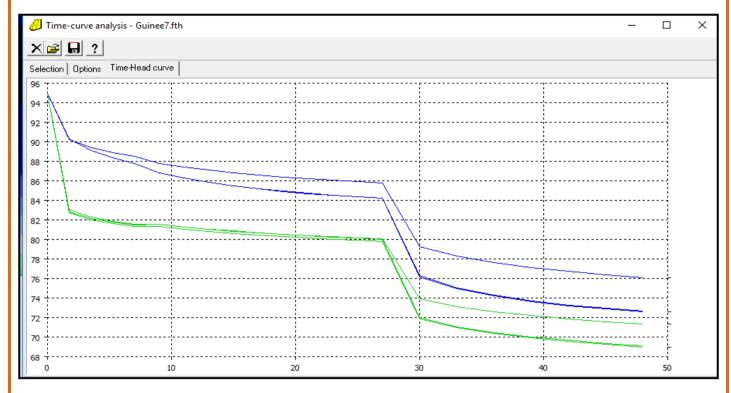
Avec les nouveaux paramètres du modèle issus des essais de pompage, la mise en œuvre d'un débit global de 855 m3/h répartie de la manière suivante :

- 30 puits ancré à 61 depuis le TN ( débit par puits de 12.5 m3/h)
- 36 puits ancré à 61 depuis la plateforme 87 ou 85 ( débit par puits de 12.5 m3/h)
- Pompage de surface complémentaire pour reprise des arrivèes d'eaux d'écoulement fissurales de 90 m3/h à mettre en oeuvre dans l'excavation

permet de rabattre l'aquifère des sables 5c à la côte +70 et l'aquifère 4b + 5a à la côte +73.

Nous avons également regardé la durée globale de rabattement pour arriver à l'objectif.

Pour cela nous avons disposé 3 piézomètres sur la ligne de coupe effectué afin d'observer la variation de nappe dans l'aquifère 5c ( courbe verte) et l'aquifère 4b + 5a ( courbe bleu)



Nous observons que le rabattement de nappe de la première phase (Objectif a +80) est obtenu après 28 jours. Le rabattement de nappe pour la seconde phase (Objectif à +70) est obtenu après environ 20 jours dès mise en route de l'ensemble des forages.

Nous constatons qu'en raison de la transmissivité importante de l'aquifère des sables 5c, il sera possible d'installer les forages du second réseau dès mise en route de l'ensemble des puits forés depuis le TN.