

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
et des Sciences de la Terre et de l'Univers  
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Géologie

Option : **Hydrogéologie**

---

**ETUDE DES ECOULEMENTS DANS UN MILIEU POREUX SUR  
UN BANC D'ESSAI AU LABORATOIRE**

---

Présenté par

**BENOUIS Abdelbassat & HASSAINE Anes Ahmed**

Soutenu le : 21 / 06 / 2015

Devant le jury composé de :

Mr <b>ALLAL M.A.</b>	Professeur	Président
Mme <b>BABA-HAMED K.</b>	Maître de conférences A	Encadreur
Mr <b>BOUANANI A.</b>	Professeur	Co-encadreur
Mr <b>BESSEDIK M.</b>	Maître de conférences B	Examineur
Mr <b>TABET HELAL M A.</b>	Maître assistant A	Examineur

**2014 - 2015**

## Remerciements

Moment mythique de l'étudiant: la rédaction des remerciements ! Instant clé car symbole de l'aboutissement des travaux ou de sortie du tunnel, selon l'état d'esprit... Nous y voilà, donc à notre tour de remercier tout ceux qui ont permis à ce temps-là d'arriver.

Nous ne voulions pas attendre plus longtemps pour remercier nos deux encadreurs Mme. **BABA HAMED K**, Maître de conférences et Mr **BOUANANI A**, Professeur à l'université de Tlemcen.

Tous les deux ont su nous guider, orienter dans ces travaux et manifester un intérêt constant et constructif pour ce projet. Nos remerciements pour leurs aides, leurs disponibilité et conseils si riches tout au long de la réalisation de ce travail, ils ont répondu à un nombre infinis de nos sollicitations et ont été présents jusqu'au bout. Merci pour votre écoute, vos conseils, votre patience et votre soutien. Grace à vous, nous nous sommes frottés à la paille pour découvrir l'univers des mesures au laboratoire.

Un remerciement spécial est accordée à Mr **BESSEDIK M**, Chef de Département d'Hydraulique de Tlemcen, pour nous avoir permis l'accès au laboratoire d'Hydrologie et d'Hydrogéologie, Ainsi , il nous a permis de réaliser ce travail dans de bonnes conditions.

Merci également au Professeur **ALLAL M I** d'avoir accepté de présider notre jury.

Nous remercions vivement, Docteur **BESSEDIK M** Maître de conférences et Mr **TABET HELAL M A**. Maître-assistant A d'avoir marqué leur intérêt pour nos travaux en acceptant d'être membre du jury.

Merci au Professeur **GHOMARI F** du Département de Génie civil de l'université de Tlemcen pour son aide dans l'acquisition des différents matériaux.

Nous ne voudrions pas oublier tous les ingénieurs et les techniciens des laboratoires d'Hydraulique et de Génie civil, à leur tête Madame **SAHI F**.

Tout le personnel du laboratoire 25 qui a contribué à l'élaboration de ce manuscrit.

Une motion aussi particulière à Mme **BOUANANI R** et Mme **HEBIB I F**, qui nous ont aidés à la réalisation de ce mémoire avec leurs conseils et idées.

Enfin, mille merci à tous ceux qui ont accompagné au quotidien nos doutes et nos enthousiasmes.

# **Dédicaces**

*Je dédie ce modeste travail à*

*Mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler.*

*Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A celle que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet,*

*Bien sûr, à mes frères **HISHAM** et **NABIL**, sans oublier mes belles sœurs que j'aime beaucoup et leurs enfants.*

*A toute ma famille, et mes amis,*

*A mon binôme **ANES** et toute la famille **HASSAINE**.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

**ABDELBASSET.**

*Au Nom de Dieu le tout puissant, qui nous a éclairé les chemins du savoir et de la sagesse, je dédie cet ouvrage et modeste travail à :*

*Toutes les personnes qui croient en moi,  
qui m'ont soutenu et m'ont toujours aidé.*

*A mes très chers parents,  
qui m'ont soutenu le long de mon parcours,  
que dieu leur procure une longue vie pleine de bonheur et de sante.*

*A ma sœur et mes deux frères **MOHCINE** et **ADEM***

*A toute ma famille, mes amis et collègues.*

*A mon frère **ABDELBASSET** et toute la famille **BENOUIS***

*Enfin, à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser cet ouvrage*

**ANES AHMED**

## RESUME

Le but de notre projet de fin d'études est de contribuer à la compréhension du fonctionnement hydrologique d'un aquifère à nappe libre (phréatique) sur un modèle réduit. Ce dernier est constitué d'un banc d'essai destiné à l'étude du comportement hydrodynamique des matériaux étudiés (sable, gravier et argile gréseuse).

Ensuite, la détermination des paramètres d'un aquifère, la perméabilité (extraite de l'analyse granulométrique, du perméamètre et du banc d'essai), la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement (par des essais hydrodynamiques), avec une application des lois de DARCY, THEIS et JACOB.

Les essais effectués sur les formations permettent d'analyser de façon quantitative les propriétés hydrauliques telles que le coefficient d'emmagasinement (S) et la transmissivité (T). Les résultats obtenus confirment que le gravier ( $T = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ ) peut transmettre l'eau plus que le sable ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ), par contre, ce dernier peut emmagasiner l'eau plus que le gravier, les coefficients d'emmagasinement sont respectivement  $1,53 \cdot 10^{-2}$  et  $6,45 \cdot 10^{-4}$ .

Les différentes expériences ont mis en évidence l'importance du gravier et du sable qui peuvent être utilisés comme filtre dans les stations de traitement et d'épuration.

Mots clés : Banc d'essai – porosité - perméabilité - nappe libre - régime permanent - essai de pompage - décharge – écoulement – hydrodynamique.

---

## ABSTRACT

The aim of our final project is to contribute to the understanding of the hydrological functioning of an unconfined aquifer (phreatic) to a reduced model. The latter consists of a bench for test designed for studying the hydrodynamic behavior of the studied materials (sand, gravel and the sandstone clay).

In addition to this, the determination of the parameters of an aquifer, permeability (extracted from the particle size analysis, the permeameter and from the bench for test), the transmissivity and the storage coefficient (by hydrodynamic tests), with the application of DARCY, THEIS and JACOB laws.

Tests carried out on the training helps to analyze quantitatively the hydraulic properties such as storage coefficient (S) and the transmissivity (T). The results confirm that the gravel ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ) can pass the water over the sand ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ), by against, it can store more water that gravel, storage coefficients are  $1,53 \cdot 10^{-2}$  and  $6,45 \cdot 10^{-4}$  respectively.

The different experiences have highlighted the importance of gravel and sand that can be used as a filter in treatment and purification plants.

Keywords: Test bench – permeability - porosity - water table - steady - pumping test - discharge - flow - hydrodynamics.

# TABLE DES MATIERS

Résumé

Introduction générale..... 1

## Chapitre I : Présentation du banc d'essai

I.1 - DISCRIPTION DU BANC D'ESSAI HYDROLOGIQUE..... 2

I.2 - FONCTIONNEMENT DU BANC D'ESSAI ..... 3

I.2.1 - Les éléments du banc d'essai .....3

I.2.1.1 - Bassin de prise d'eau .....3

I.2.1.2 - Groupe électropompe ..... 3

I.2.1.3 - Les vannes de contrôles .....3

I.2.1.4 - Le bassin .....3

I.2.1.2 - Groupe électropompe .....4

I.2.1.3 - Les vannesde contrôles.....4

I.2.1.4 - Le bassin.....4

I.2.1.6 - Les puits de pompage .....4

I.2.1.7 - Les gicleurs .....4

I.2.1.8 – Conseils pour la maitrise du banc d'essai .....4

## ChapitreII : Les concepts fondamentaux

II.1 - Comportement général des aquifères ..... 4

II.2 - Classifications des nappes..... 5

II.2.1 - L'eau de rétention ou eau non mobilisable.....7

II.2.1.1- L'eau d'adsorption (liée) .....7

II.2.1.2 - L'eau d'adhésion (pelliculaire).....7

II.2.1.3 - L'eau capillaire .....7

II.2.2- L'eau libre .....7

II.3 - Aquifère bicouche ou multicouche ..... 8

II.4 - Types de milieu perméable et porosité..... 8

II.4.1 - Milieu poreux et milieu fissuré.....8

II.4.2 - Milieu continu et discontinu .....9

II.5 - La porosité des formations aquifères ..... 9

II.5.1 - Porosité des rochesà porosité d'interstices .....9

<b>II.5.2 - Granulométrie du milieu poreux meuble</b> .....	10
<b>II.5.3 - Porosité des roches consolidées</b> .....	10
<b>II.6 - Hétérogénéité et anisotropie de la perméabilité</b> .....	11
<b>II.6.1 - Homogène et hétérogène</b> .....	11
<b>II.6.2 - Isotrope et anisotrope</b> .....	11
<b>II.7- Perméabilité</b> .....	11
<b>II.8 - Caractéristiques hydrodynamique ou hydraulique</b> .....	13
<b>II.8.1 – Perméabilité</b> .....	13
<b>II.8.2 –Trasnmissivité</b> .....	14
<b>II.8.3 - Coefficients d’emmagasinement</b> .....	14
<b>II.9 - Piézomètre et réseau d’écoulement</b> .....	14
<b>II.9.1 - Charge hydraulique et écoulement</b> .....	14
<b>II.9.2 - Carte piézométrique</b> .....	15
<b>II.10 - Essai de pompage</b> .....	16
<b>II.10.1 - Effet du pompage sur l’aquifère, cône de dépression</b> .....	16
<b>II.10.2 Méthode de Thiem : (MauriceCassan, 1980)</b> .....	17
<b>II.10.3 - Méthodes de Theis (1935) et Jacob (1950) : (Castany.G, 1982)</b> .....	17

## **Chapitre III : Etudes des propriétés du milieu poreux**

<b>III.1 – Analyse granulométrique par voie sèche</b> .....	19
<b>III.1.1 – But de l’essai</b> .....	19
<b>III.1.2 – Principe de l’essai</b> .....	19
<b>III.1.3 – Matériel nécessaire</b> .....	19
<b>III.1.4 – Conduite de l’essai</b> .....	20
<b>III.1.5 – Dimension des tamis utilisés</b> .....	21
<b>III.1.6 – Préparation de l’échantillon</b> .....	21

III.1.7 – Description de l’essai .....	21
III.1.8 – Expression des résultats des courbes granulométriques.....	22
III.1.9 – Exploitation des résultats.....	23
III.1.9.1 – Le sable .....	23
III.1.9.2 – Le gravier grossier.....	25
III.1.9.3 – Le gravier fin .....	27
III.1.9.4 – Le mélange .....	29
III.2 – Perméamètre .....	31
III.2.1 – But de l’essai.....	31
III.2.2 – Principe de la méthode.....	31
III.2.3 – matériel nécessaire .....	31
III.3 – Calcul de la perméabilité.....	33
III.3.1 – A partir de la granulométrie.....	33
III.3.2 – A partir du perméamètre.....	33
III.3.3 – A partir du banc d’essai d’après la loi de Darcy.....	33

## **Chapitre IV : ETUDE EXPERIMENTALE**

IV.1- Manipulation n° 1 .....	34
IV.2 - Manipulation n° 2 .....	34
- Sable – Gravier.....	34
- Gravier – Sable.....	34
- Multicouche.....	34
IV.3 - Manipulation n° 3 .....	35
- Sable – Gravier.....	35
- Gravier – Sable.....	35
- Multicouche.....	35
- Mélange .....	35
IV.4 – Présentation des résultats .....	36

<b>IV.4.1 – SABLE-GRAVIER .....</b>	<b>36</b>
<b>IV.4.1.1 –Essai de la décharge sans pompage.....</b>	<b>37</b>
<b>IV.4.1.2 –Essai de pompage effectué au puits A avec décharge .....</b>	<b>39</b>
<b>IV.4.1.3 – Essai de pompage effectué au puits B avec décharge .....</b>	<b>41</b>
<b>IV.4.1.4 –Essai de pompage effectué aux puits A et B avec décharge .....</b>	<b>43</b>
<b>IV.4.1.5 - Essai de pompage effectué au puits A sans décharge .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.4.1.6 - Essai de pompage effectué au puits B sans décharge .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.4.1.7 - Essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.4.1.8 – Conclusion .....</b>	<b>51</b>
<b>IV.4.2 - GRAVIER-SABLE.....</b>	<b>51</b>
<b>IV.4.2.1 - Essai de pompage effectué au puits A sans décharge .....</b>	<b>52</b>
<b>IV.4.2.2 - Essai de pompage effectué au puits B sans décharge.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.4.2.3 - Essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge .....</b>	<b>56</b>
<b>IV.4.2.4 - Essai de pompage effectué au puits A avec décharge .....</b>	<b>58</b>
<b>IV.4.2.5 - Essai de pompage effectué au puits B avec décharge .....</b>	<b>60</b>
<b>IV.4.2.6 - Essai de pompage effectué au puits A et B avec décharge.....</b>	<b>62</b>
<b>IV.4.2.7 – Conclusion .....</b>	<b>64</b>
<b>IV.4.3 - FORMATION MULTICOUCHE .....</b>	<b>64</b>
<b>IV.4.3.1 - Essaide pompage au puits A sans décharge.....</b>	<b>65</b>
<b>IV.4.3.2 - Essai de pompage au puits B sans décharge .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.4.3.3 - Essai de pompage aux puits A et B sans décharge.....</b>	<b>69</b>
<b>IV.4.3.4 - Essai de la décharge.....</b>	<b>71</b>
<b>IV.4.3.5 - Essai avec pompage aux puits A et B avec décharge .....</b>	<b>73</b>
<b>IV.4.3.6 - Essai avec pompage au puits A avec décharge .....</b>	<b>75</b>
<b>IV.4.3.7 – Essai de pompage au puits B avec décharge .....</b>	<b>77</b>
<b>IV.4.3.8 – Conclusion .....</b>	<b>79</b>
<b>IV.4.4 -FORMATION MELANGE .....</b>	<b>79</b>



IV.4.4.1 - Essai avec pompage au puits A sans décharge.....	80
IV.4.4.2 - Essai avec pompage au puits A sans décharge.....	82
IV.4.4.3 - Essai avec pompage aux puits A et B sans décharge .....	84
IV.4.4.3 – Conclusion .....	86
IV.5 - Essai de pompage au niveau du puits A .....	86
IV.6-Présentation des résultats .....	86
IV. 6.1- Sable – gravier.....	87
IV.6.1.1 – Pompage d’essai au puits A.....	87
IV.6.1.2 – Pompage d’essai au puits B.....	88
IV.6.1.3 – Pompage d’essai aux puits A et B .....	89
IV. 6.2 - Gravier – sable .....	90
IV.6.2.1 – Pompage d’essai au puits A.....	90
IV.6.2.2 – Pompage d’essai au puits B.....	91
IV.6.2.3 – Pompage d’essai aux puits A et B .....	92
IV. 6.3 – Multicouches.....	93
IV.6.3.1 – Pompage d’essai au puits A.....	93
IV.6.3.2 – Pompage d’essai au puits B.....	94
IV.6.3.3 – Pompage d’essai aux puits A et B .....	95
IV. 6.4 – Mélange.....	96
IV.6.4.1 – Pompage d’essai au puits A.....	96
IV.6.4.2 – Pompage d’essai au puits B.....	97
IV.6.4.3 – Pompage d’essai aux puits A et B .....	98
IV.6.5. Interprétation de l’essai de pompage.....	99

# **Introduction générale**

### Introduction générale

L'hydrogéologie est la science qui traite l'eau souterraine, elle s'occupe de la distribution et la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface (Castany. G, 1998).

Le fonctionnement des aquifères est très complexe du point de vue hydrodynamique et l'expérience a montré qu'il est souvent difficile d'implanter des puits ou des piézomètres d'observation sur le terrain.

Pour mieux observer et bien comprendre le comportement de ces aquifères nous avons essayé d'élaborer ce travail à petite échelle au niveau du laboratoire du Département d'Hydraulique sur le banc d'essai hydrologique afin de déterminer les paramètres statiques et dynamiques pour les milieux homogène et hétérogène.

Ce travail est divisé en deux parties, la première théorique et la seconde pratique.

La première partie de ce mémoire donne un aperçu théorique et présente des notions de base de l'Hydraulique souterraine ainsi que la détermination des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères.

La seconde partie est consacrée à une description détaillée du banc d'essai hydrologique, et des protocoles expérimentaux hydrodynamiques utilisés.

Enfin, nous terminerons notre travail par une conclusion faisant apparaître la synthèse des résultats trouvés lors des différents essais.

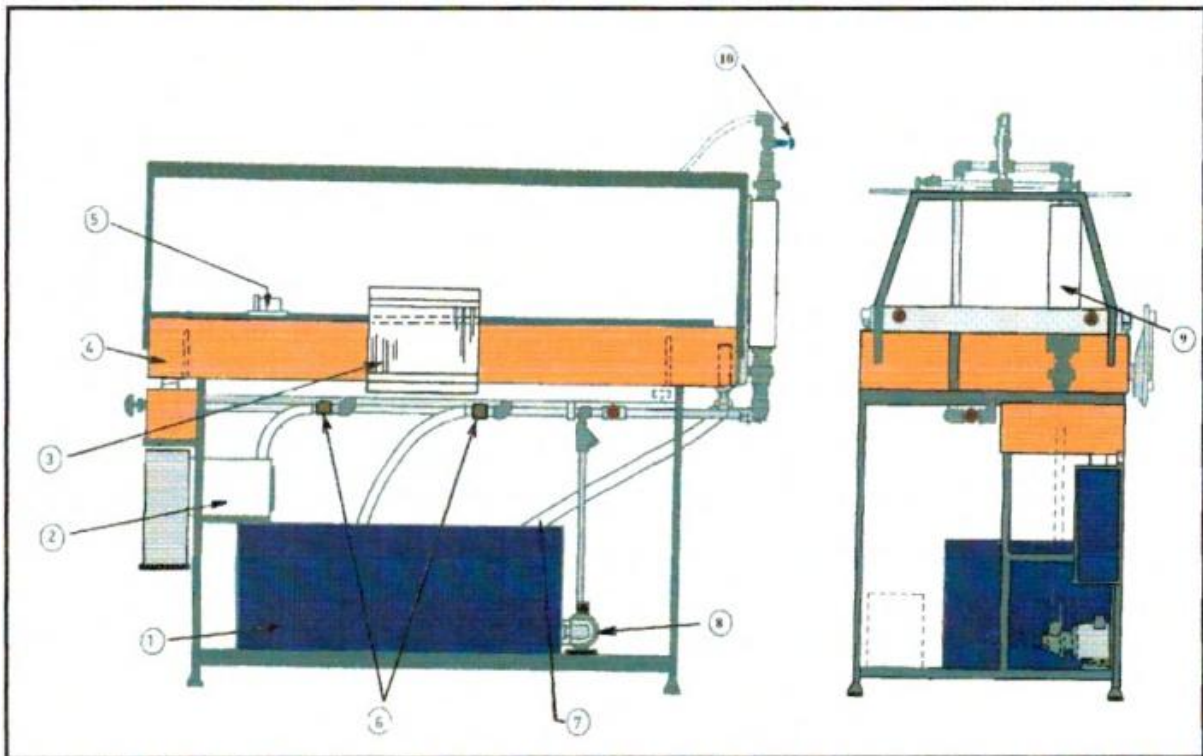
# Chapitre I

## **PRESENTATION DU BANC D'ESSAI**

### I.1 - DISCRIPTION DU BANC D'ESSAI HYDROLOGIQUE :

Le banc d'essai hydrologique (fig.I.1) est un appareil utilisé au laboratoire comme modèle réduit du système hydrologique "cycle et bilan de l'eau". Il est constitué essentiellement:

- d'un bassin de 1m de largeur, 2m de longueur, et de 15cm maximum de hauteur, constitué de 2 puits de pompage et de 20 piézomètres liés à un manomètre, terminé à ses extrémités par deux canaux, l'un d'alimentation latérale, l'autre de décharge ou exutoire,
- des becs d'alimentation situés au-dessus du bassin, simulent une alimentation pluviométrique;
- le réservoir de vidange placé au-dessous du bassin, assure l'alimentation et la récupération de l'eau.



(1) Réservoir, (2) Mesure du débit de sortie, (3) Piézomètres manométriques, (4) Banc d'essai hydrologique, (5) Bassin du banc d'essai hydrologique, (6) Vannes des puits de pompage, (7) Tuyau de décharge, (8) Pompe, (9) Régulateur de débit, (10) Vanne d'alimentation pluviométrique simulée.

**Fig. I.1 : Représentation du banc d'essai hydrologique.**

## I.2 - FONCTIONNEMENT DU BANC D'ESSAI :

C'est un appareil qui sert à montrer, à petite échelle, quelques processus physiques concernant l'hydrogéologie. L'alimentation en eau de l'équipement est assurée grâce à une pompe électrique centrifuge montée au niveau du sol à côté du réservoir de vidange. L'eau passe à travers une conduite ainsi qu'un débitmètre, et arrive ensuite aux trois entrées des vannes de contrôle. Deux d'entre elles servent au contrôle du débit qui alimente latéralement l'amont et l'aval du bassin, et la troisième, à celle qui alimente les becs (alimentation par précipitations).

### I.2.1 - Les éléments du banc d'essai :

#### I.2.1.1 - Bassin de prise d'eau :

C'est un bassin rectangulaire destiné à contenir l'eau circulant dans le système. Il est fabriqué en fer. Il constitue le point de départ et d'arrivée du cycle hydrologique.

#### I.2.1.2 - Groupe électropompe :

A partir du bassin précédent, l'eau est relevée par une pompe centrifuge couplée d'un moteur électrique.

#### I.2.1.3 - Les vannes de contrôles :

Il en existe six vannes (6) :

- une vanne qui permet de régler le débit qui passe par le débitmètre.
- Deux vannes assurent l'alimentation latérale.
- Deux vannes permettent le pompage dans les puits.
- Une vanne contrôle le débit des gicleurs (débit qui provoque les précipitations).

#### I.2.1.4 - Le bassin :

C'est un bassin rectangulaire d'une capacité de  $0.3\text{m}^3$  destiné à contenir le matériau pour les expériences à réaliser, ses dimensions sont :

Longueur : 2m

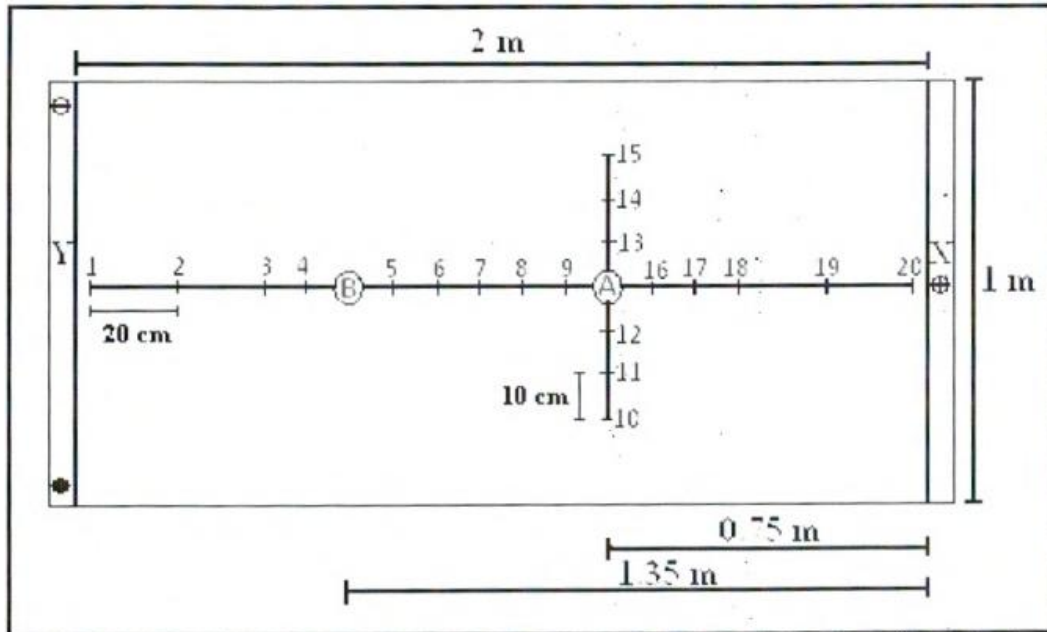
Largueur : 1m

Épaisseur de sable : 0.15m

Superficie :  $2\text{m}^2$

### I.2.1.5 - Les piézomètres :

Il existe vingt (20) piézomètres sur le banc qui permettent de mesurer le niveau de l'eau dans l'aquifère, chaque piézomètre est raccordé à un point de pression à la base du bassin (fig.I.2).



(A et B) : Puits de pompage, (1, 2, 3,..., 20) : Piézomètres ou manomètres,

(X) : Point d'alimentation, (Y) : Points de décharge (exutoire).

**Fig. I.2 : Localisation des puits et des piézomètres.**

### I.2.1.6 - Les puits de pompage :

Il existe deux à partir desquels se font les essais de pompages. Le débit de pompage peut être contrôlé grâce à des vannes situées à la base du bassin sous chaque puits.

### I.2.1.7 - Les gicleurs :

Un ensemble de gicleurs situé au-dessus du bassin, permet de créer des précipitations artificielles. Pour diminuer les pertes de débits, le bassin est muni de rideaux en plastique.

### I.2.1.8 – Conseils pour la maîtrise du banc d'essai :

Bien que le banc d'essai permette de multiples expérimentations, la réussite de ces dernières dépend d'un certain nombre de conditions, à savoir :

- - Des débits supérieurs à 10 L/mn provoquent des fuites au niveau de certaines parties du circuit hydraulique.

- - L'absence de graviers aux deux extrémités du banc provoque la migration des particules fines.
- - Avant toute mesure des niveaux piézométriques, nous devons assurer la purge de l'air dans ces derniers. L'étalonnage des puits de pompage facilite les mesures de débit de pompage.



# Chapitre II

## **LES CONCEPTS FONDAMENTAUX**

## II.1 - Comportement général des aquifères :

L'étude du fonctionnement des aquifères implique que l'on prenne en compte les aspects dynamiques des aquifères dans des approches globales. Les aquifères présentent ainsi plusieurs types de comportement en réponse à des incitations extérieurs imposées à des limites. Le réservoir est le lieu des transferts modulant les impulsions en réponses, on considère généralement trois types d'impulsion :

- Hydrodynamique : flux et stock d'eau, pression de l'eau,
- Hydrochimique : substances minérales ou organiques, flux de chaleur,
- Hydro-biologique : micro-organismes.

En hydrodynamique, on considère l'aquifère comme une fonction qui module les impulsions souvent discontinues (précipitations) en réponses plus régularisées (sources).

En hydrochimie, les interactions eau-roche modifient les caractéristiques de l'eau d'écoulement, au niveau des paramètres physico-chimiques (lessivage de sels).

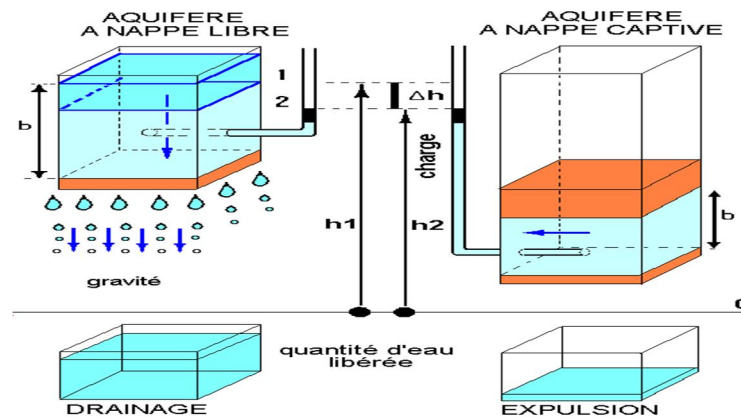
En hydro-biologie, l'aquifère joue un rôle d'auto-épuration très important assurant ainsi une protection naturelle de l'eau souterraine en cas de pollution (la zone non saturée joue dans ce cadre un rôle encore plus important).

## II.2 - Classifications des nappes :

Un aquifère est au sens strict une formation géologique perméable qui contient de l'eau, par opposition à un **aquitard** ou un **aquiclude** qui sont tous deux peu perméables (mais la distinction entre les deux termes prête à confusion). On parle généralement d'aquitard pour désigner une formation géologique peu perméable (relativement à la formation considérée comme perméable). On gardera ici à l'esprit que le caractère perméable d'une formation géologique est relatif. Un grès peut être considéré comme perméable par rapport à un niveau argileux, mais devient peu perméable si on le compare à des dépôts graveleux grossiers par exemple.

L'écoulement de l'eau souterraine peut être non confiné (libre) ou confiné (captif)

(fig. II.1)



**Fig. II.1: Présentation des différentes nappes (Castany.G, 1982)**

Dans le premier cas, le niveau de la surface libre de l'écoulement souterrain peut se déplacer verticalement sans limite vers le haut (jusqu'à la surface topographique).

Dans le deuxième cas, la présence d'un niveau peu perméable ne permet pas l'élévation du niveau de la surface libre. Dans le cas d'un écoulement libre, le potentiel hydraulique à la surface libre de l'écoulement est égal à l'altitude de ce point. Dans le cas d'un écoulement confiné, le potentiel hydraulique est supérieur ou égal à l'altitude de la formation peu perméable située au-dessus de l'écoulement.

Dans le cas d'un écoulement confiné, l'aquifère est entièrement saturé en eau (saturation=1), on parle d'écoulement saturé. Dans le cas d'un écoulement libre, on distingue une partie de l'aquifère saturée en eau (zone saturée), et une partie pour laquelle la saturation est inférieure à 1, c'est la zone non saturée qui est bien entendue située au-dessus de la zone saturée. La zone de transition entre la zone saturée et la zone non saturée est appelée la frange capillaire.

L'eau souterraine désigne l'eau contenue dans le sol et dans le sous-sol. Elle existe sous plusieurs formes (fig. II.2).

### II.2.1 - L'eau de rétention ou eau non mobilisable :

L'eau de rétention (eau pelliculaire et eau adsorbée) est la fraction de l'eau souterraine, maintenue dans les vides à la surface des grains ou des parois des microfissures, par des forces supérieures à celles de la gravité. (Elle n'est donc pas mobilisable).

Attirée fortement à la surface du solide, elle fait corps avec lui et appartient physiquement et mécaniquement à la même phase de l'aquifère, réservoir / eau de rétention ou corps solide.

#### II.2.1.1- L'eau d'adsorption (liée) :

Les molécules d'eau dipolaires sont attirées par des effets de surface sur des ensembles ionisés (argile) en couche fine. L'eau d'adsorption n'est pas chassée par centrifugation.

#### II.2.1.2 - L'eau d'adhésion (pelliculaire) :

L'eau est retenue à la surface des grains par une attraction électrique moins forte que dans l'adsorption, elle peut se déplacer.

#### II.2.1.3 - L'eau capillaire :

Elle se trouve dans les pores, c'est l'eau d'absorption (l'eau recherchée par les racines).

### II.2.2- L'eau libre :

C'est l'eau de gravité, l'eau disponible pour les nappes phréatiques.

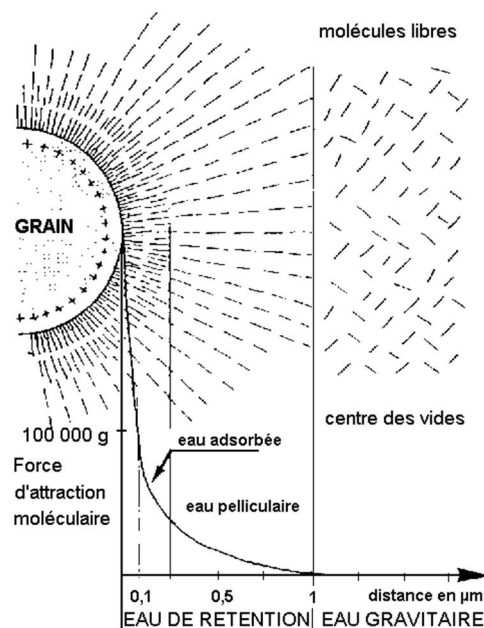


Fig.II.2: Différents types d'eau (Castany. G, 1982)

### II.3 - Aquifère bicouche ou multicouche :

On observe souvent dans les dépôts alluvionnaires ou dans les bassins sédimentaires une succession de couches perméables alternant avec des couches semi-perméables.

Lorsqu'il existe de manière naturelle ou artificielle, une différence de charge transfert vertical d'eau induit par le différentiel de pression : on appelle ce phénomène de drainance (fig. II.3).

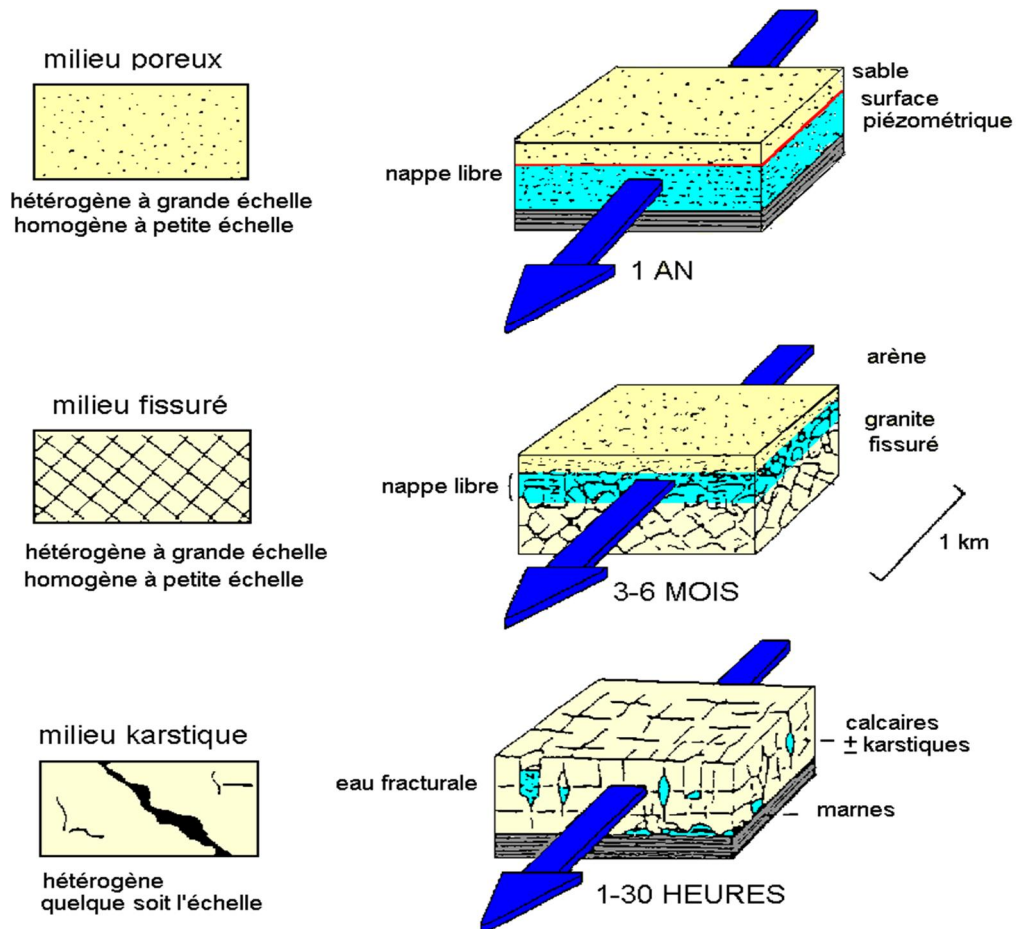


Fig.II.3: Différents types d'aquifères.

### II.4 - Types de milieu perméable et porosité :

#### II.4.1 - Milieu poreux et milieu fissuré :

En hydrogéologie on identifie deux types différents de réservoirs : le réservoir en milieu poreux et le réservoir en milieu fissuré. Le réservoir en milieu poreux ou aquifère à porosité d'interstices est un milieu perméable comportant des pores interconnectés, comme les sables ou les grès peu cimentés. Le réservoir en milieu fissuré est un milieu perméable dans lequel

l'eau s'écoule à travers un réseau de fissures ou de fractures ouvertes, diversement interconnectées (roche cristallines, grès cimentés, calcaire fissuré ou karstique).

#### **II.4.2 - Milieu continu et discontinu :**

Si le milieu comporte des vides interconnectés dans le sens de l'écoulement, on parlera d'un milieu continu. Le milieu poreux et le milieu finement fissuré sont continus par opposition aux milieux fissures et karstiques, appelés milieux discontinus.

Remarquons que si les lois générales de l'hydraulique ne s'appliquent qu'à des milieux continus isotropes et homogènes, on les applique également, en première approximation, aux milieux naturels même fissurés en prenant cependant soin de travailler à des échelles adéquates.

#### **II.5 - La porosité des formations aquifères :**

Un milieu perméable sera un aquifère favorable si en plus d'une perméabilité élevée, il contient une quantité d'eau appréciable dans les vides situés en son sein.

On distingue deux milieux poreux aux caractéristiques bien différentes : le milieu à porosité d'interstices et le milieu à porosité de fissuration.

##### **II.5.1 - Porosité des roches à porosité d'interstices :**

La porosité exprime la quantité de vide dans une roche. On peut la considérer à partir des phases solide et liquide.

- Phase solide : caractères pétro-physiques : grandeurs et forme des grains, spectre granulométrique.
- Phase liquide (les vides) : nombre, forme et dimension des pores et de leur interconnections, type de porosité, volume d'emmagasinement, perméabilité.

En hydrogéologie, on considère principalement la porosité efficace ou cinématique, plutôt que la porosité totale.

On exprime la porosité par le rapport des volumes, volume des vides et volume de la roche, exprimée en %.

**Porosité efficace  $n_e$**  : rapport du volume d'eau mobile à saturation, libéré sous l'effet d'un drainage complet, au volume total de la roche. On parle également de porosité effective. Valeurs de 0 à 30 %.

**Porosité cinématique :** rapport entre la vitesse de filtration de Darcy, soit le débit spécifique et la vitesse linéaire moyenne de déplacement de l'eau (vitesse des traceurs).

En fait, il s'agit de la teneur en eau mobile ou du rapport entre le volume des vides, réellement parcourus par l'eau en mouvement, au volume total (saturé ou non saturé). Valeurs de 0 à 25%.

### II.5.2 - Granulométrie du milieu poreux meuble :

L'étude granulométrique est importante pour caractériser la nature d'une formation meuble et surtout pour dimensionner l'équipement des puits et des forages.

On détermine la distribution pondérale des dimensions des grains par l'opération de tamisage. On pourra ensuite différencier les granulométries uniformes des granulométries variées par le coefficient de Hazen **Cu**,  $Cu = d_{60}/d_{10}$  (1)

Si  $U > 2.5$ , la granulométrie est variée.

La relation entre granulométrie, texture et porosité est complexe, elle est influencée par :

- La forme des grains (arrondi et sphéricité)
- La surface spécifique des grains (augmentation avec la diminution relative du diamètre des grains).
- La compaction de l'assemblage (les structures des éboulis et des dépôts deltaïques ont généralement une bonne porosité)
- L'importance de U (avec une granulométrie variée, les particules fines se placent entre les particules plus grosses).

### II.5.3 - Porosité des roches consolidées :

Dans ces roches, les vides sont constitués par des joints de stratification, des fissures ou des fractures interconnectées (résultant des contraintes). Le plus souvent ces fissures ne sont pas ouvertes, mais sont obstruées par recristallisation ou le colmatage.

En général, l'hydrogéologue s'intéresse plus particulièrement aux fractures ouvertes, ou plutôt aux familles de fractures ouvertes. On prend également en considération les microfissures (ouverture de l'ordre du mm) : diaclase, micro joints de stratification, plan de schistosité. Dans ce cas, le milieu est considéré comme continu et le rôle hydrodynamique de ces ouvertures est proche de celui des pores en milieu poreux.

Il existe parfois des roches consolidées à porosité combinée ou à double porosité. Les calcaires oolithiques ou les grès peuvent en effet être simultanément à porosité de

microfissure ou de matrice. En milieu calcaire, les fractures sont souvent élargies par la dissolution des calcaires, voir même transformées en cavité.

Malgré cette faible valeur, les fissures peuvent créer un réseau mobilisant l'eau facilement et donner ainsi un caractère aquifère à une roche massive. La localisation de l'eau en profondeur y est toutefois délicate.

## **II.6 - Hétérogénéité et anisotropie de la perméabilité :**

Les valeurs de la perméabilité ( $k$ ) varient généralement à l'intérieur d'une formation géologique, comme d'ailleurs selon la direction des mesures. On appelle ceci respectivement, l'hétérogénéité et l'anisotropie.

### **II.6.1 - Homogène et hétérogène :**

Si la perméabilité ( $k$ ) est indépendante de la position de la mesure dans une formation géologique, on appelle cette dernière, une formation homogène. Si cette formation est composée de plusieurs couches de natures différentes, on aura une formation typiquement hétérogène.

### **II.6.2 - Isotrope et anisotrope :**

Une formation est isotrope si la direction de mesure ne modifie pas la conductivité mesurée. Si la perméabilité ( $k$ ) varie avec la direction de mesure, la formation est anisotrope. Toutes ces définitions impliquent que l'on prenne en compte le facteur d'échelle. Par exemple, un aquifère alluviale est considéré comme homogène à l'échelle régionale alors qu'il est tout à fait hétérogène à l'échelle locale et en même temps homogène à l'échelle du volume représentatif élémentaire (VRE).

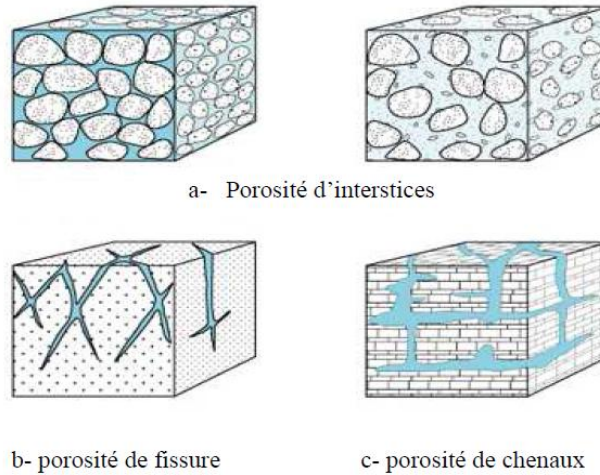
## **II.7- Perméabilité :**

La perméabilité d'un matériau (une roche, un sol, etc.) est sa capacité à laisser passer un fluide, appelée aussi conductivité hydraulique lorsque le fluide est l'eau, la perméabilité ( $k$ ) s'exprime en unité  $(m/s)$  car il s'agit d'un débit ( $m^3/s$ ) divisé par un gradient ( $m/m$ ) et une section ( $m^2$ ). Il ne faut pas confondre avec la porosité qui se rapporte-elle au volume du vide par rapport au volume total (fig. II.4).

Une perméabilité élevée exige une bonne porosité mais l'inverse n'est pas vrai.



Une roche très poreuse peut avoir une perméabilité très faible (argiles par exemple) car cette porosité n'est pas interconnectée.



**Fig.II.4: Relation entre la perméabilité et la porosité.**

La loi de Darcy permet de relier un débit à un gradient de pression appliqué au fluide grâce à un paramètre caractéristique du milieu traversé : La perméabilité ( $k$ )

La loi de Darcy (1856), qui a été établie expérimentalement, est le fondement même de l'hydrodynamique souterraine. Cette loi énonce que le débit d'eau ( $Q$ ) en mètres cubes par seconde, transitant verticalement dans une colonne ( $S$ ) en mètres carrés, à la perte de charge par unité de longueur, ( $i$ ) est sans dimension, et à un coefficient de proportionnalité, dit coefficient de perméabilité ( $k$ ), en mètres par seconde, soit :

$$Q = K.S.i = K.S \left( \frac{\Delta h}{L} \right) \quad (2)$$

La perte de charge ( $i$ ) par unité de longueur est définie comme le gradient hydraulique, par rapport à la hauteur de charge ( $h$ ), à la longueur ( $L$ ) sur laquelle s'effectue l'écoulement.

La loi de Darcy est établie par des expériences de laboratoire répondant à des conditions très strictes (fig. II.5). Quatre conditions doivent être respectées : continuité, isotropie, homogénéité du réservoir et écoulement laminaire.

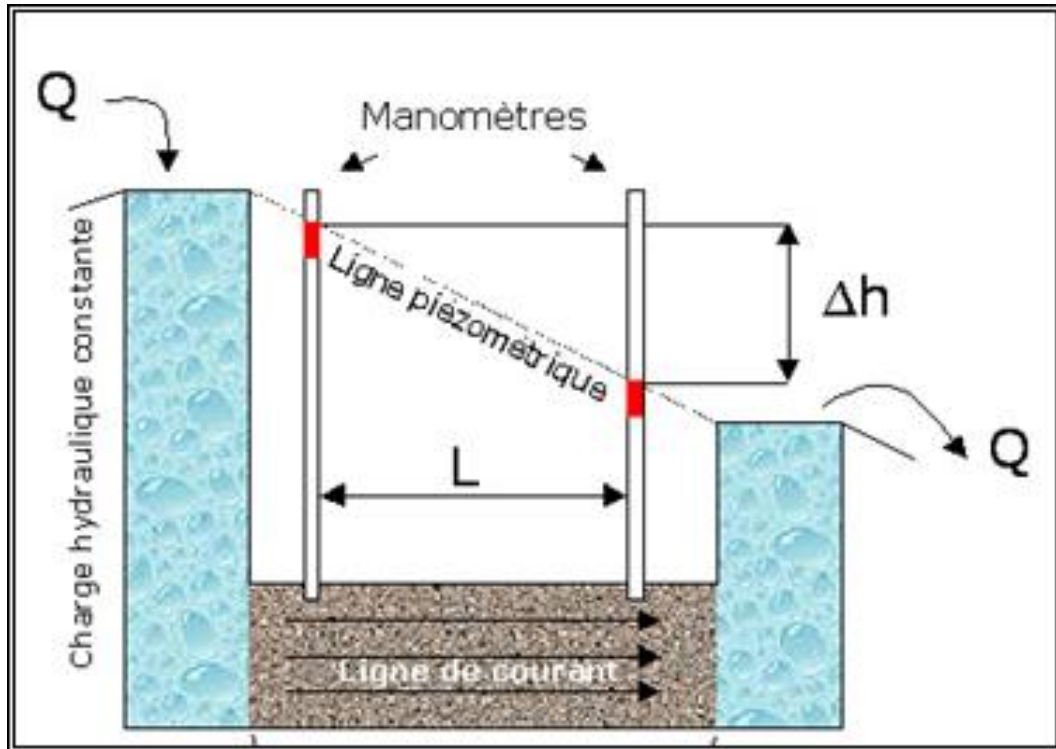


Fig.II.5: Application de la loi de Darcy. (Castany.G, 1982).

## II.8 - Caractéristiques hydrodynamique ou hydraulique :

Les aquifères sont caractérisés par deux paramètres hydrodynamiques :

La perméabilité ( $K$ ) qui caractérise la propriété d'un milieu à être traversé par l'eau en mouvement.

La porosité efficace  $n_e$  ou le coefficient d'emménagement spécifique  $S_s$  correspondant au volume relatif d'eau gravitaire contenue dans un aquifère.

### II.8.1 - Perméabilité :

La perméabilité ( $K$ ) et la transmissivité ( $T$ ) sont des propriétés indirectes de l'aquifère. ( $T$ ) est égale à ( $K$ ) intégré sur l'épaisseur verticale ( $e$ ) de l'aquifère.

Ces propriétés sont des mesures de la capacité d'un aquifère à conduire l'eau.

La perméabilité ( $K$ ) est une propriété secondaire du milieu. Elle ne dépend pas de la viscosité ni de la densité du fluide. ( $K$ ) et ( $T$ ) sont spécifiques à l'eau.

### II.8.2 - Transmissivité :

Afin de combiner les valeurs de conductivité à celles de l'épaisseur des formations et ainsi obtenir une valeur de la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient, on utilise les paramètres de la transmissivité.

La transmissivité ( $T$ )  $m^2/s$ , correspond en représentation bidimensionnelle, au produit de la conductivité ( $K$ ) par l'épaisseur de l'aquifère ( $e$ ).

$$T = K \cdot e \quad (3)$$

### II.8.3 - Coefficients d'emménagement :

La définition du coefficient d'emménagement se rapporte principalement aux aquifères à nappe captive dont la limite supérieure est constituée par une formation imperméable.

L'aquifère à nappe libre contient une eau sous pression et l'aquifère est ainsi en condition d'artésianisme. En fait, on définit de manière générale le coefficient d'emménagement ( $S$ ) comme étant la source de l'eau disponible, porosité efficace, avec l'eau libérable par la gravité, porosité efficace, alors qu'en nappe captive seule l'eau libérée par dépression (et réarrangement des grains) est prise en compte.

En nappe captive, il est évidemment très petit : environ  $10^{-6}$ , alors qu'en nappe libre, il est proche de la porosité efficace : 10%, 5%.

## II.9 - Piézomètre et réseau d'écoulement :

On peut représenter l'écoulement de l'eau dans l'aquifère par des surfaces équipotentielles et perpendiculaires à elles, par des lignes de courant.

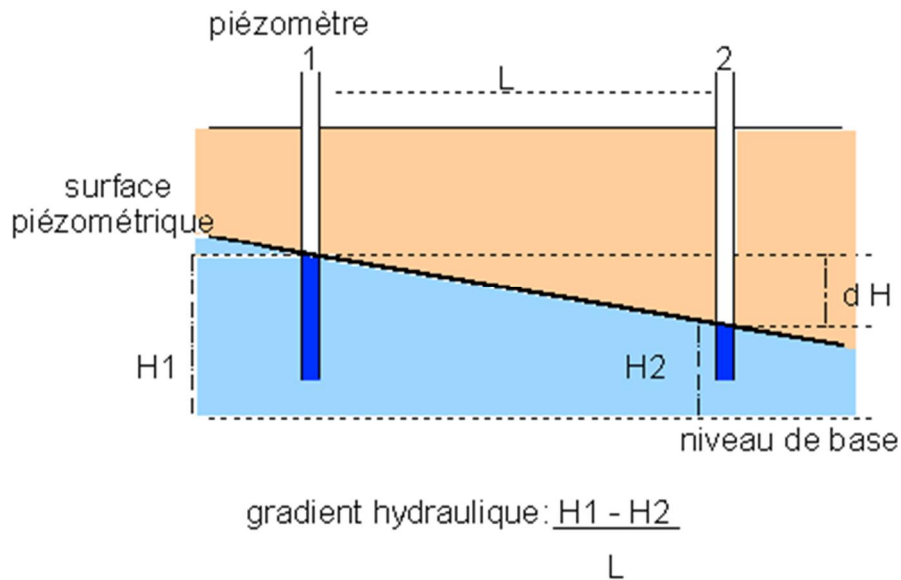
En choisissant des sections parallèles aux lignes de courant, on peut représenter en deux dimensions l'écoulement net. On appelle ligne de courant la ligne idéale qui représente la trajectoire théorique d'une particule d'eau en mouvement dans un aquifère (assimilé à un niveau continu). Elle est tangente en tout point au vecteur vitesse et en milieu isotrope, orthogonale aux surfaces ou lignes équipotentielles.

### II.9.1 - Charge hydraulique et écoulement :

La charge hydraulique ( $H$ ) conditionne l'énergie d'un point de la nappe d'eau.

Comme l'eau se déplace du point à haute énergie vers le point à basse énergie, il est impératif de bien connaître (H), si possible le champ de (H). En laboratoire, on mesure la pression généralement à l'aide de monomètres alors que sur le terrain on utilise des tubes piézométriques.

Il est recommandé de mettre en place en un même endroit plusieurs piézomètres ouverts chacun à des profondeurs différentes.



**Fig.II.6: Calcul du gradient hydraulique (Castany.G, 1982).**

### II.9.2 - Carte piézométrique :

Les cartes piézométriques (fig.II.7) donnent le champ de la charge hydraulique (H), dans une région, à un instant donné. Elles se rapportent à un seul aquifère et on présume en représentation 2D plan que l'écoulement est horizontal.

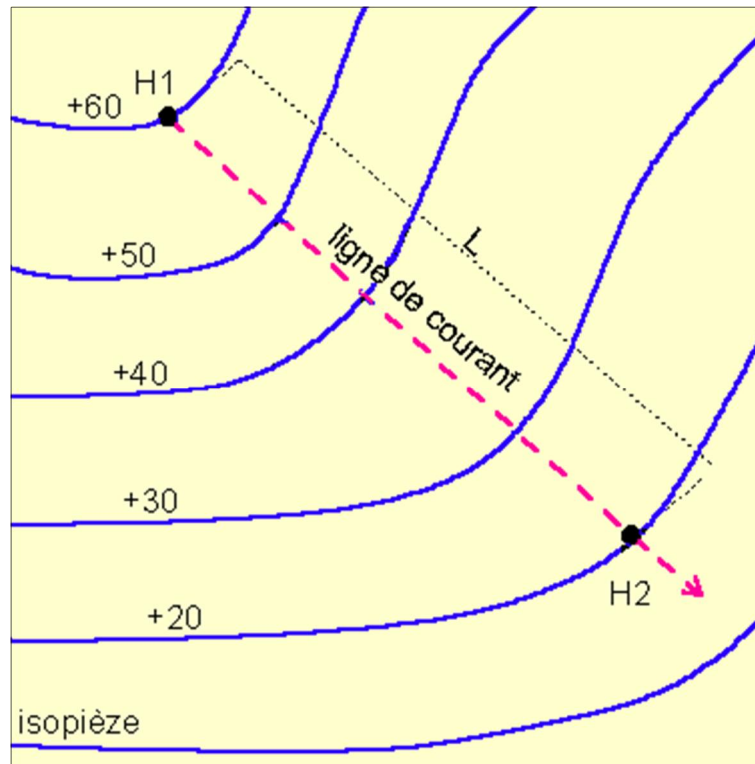


Fig.II.7: Exemple d'un tracé d'une carte piézométrique (Castany.G, 1982).

## II.10 - Essai de pompage :

Les expérimentations, par pompage à débit constant sur les puits et sondages sont exécutées par des essais de puits et des pompages d'essai. Elles consistent à mesurer l'accroissement des rabattements du niveau piézométrique en relation avec le temps de pompage et leur remontée après arrêt de l'opération. Les interprétations sont effectuées par résolution graphique des expressions d'hydrodynamiques souterraines en régime permanent, et en régime transitoire par l'utilisation des différentes méthodes.

### II.10.1 - Effet du pompage sur l'aquifère, cône de dépression :

Le pompage dans un aquifère (fig.II.8), dont la surface piézométrique initiale est supposée horizontale, crée une dépression en forme d'entonnoir. Son axe coïncide avec celui de l'ouvrage, c'est le cône de dépression.

La géométrie du cône de dépression étudiée dans un aquifère à nappe libre et dans un aquifère à nappe captive, le cône de dépression est délimité par le domaine où la surface piézométrique est influencée. C'est-à-dire affectée de rabattement mesurable. Il caractérise un écoulement à trois dimensions (Castany.G, 1982).

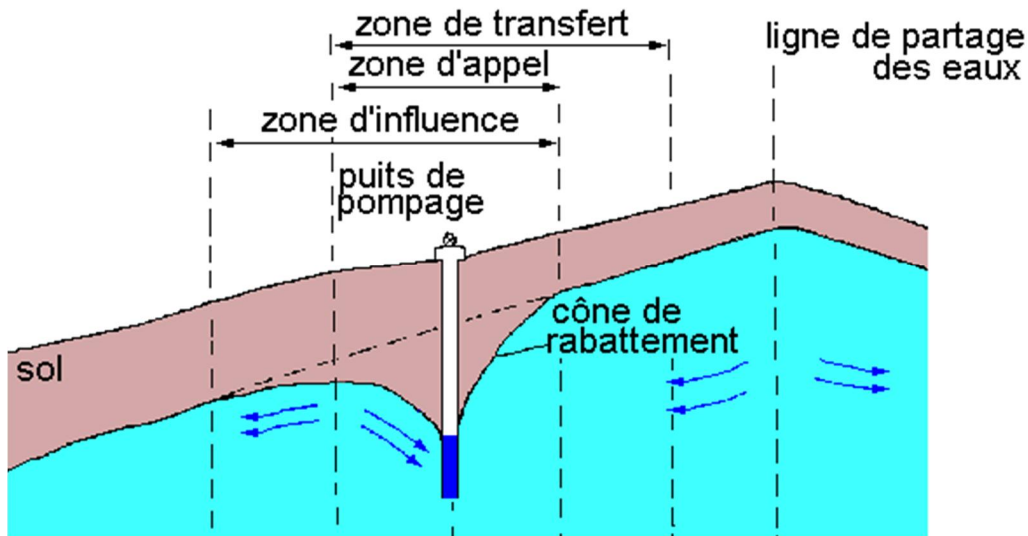


Fig.II.8: Un schéma représentatif d'un pompage.

### II.10.2 Méthode de Thiem : (Maurice Cassan, 1980) :

La méthode doit être satisfaisante aux hypothèses et aux conditions suivantes :

- La nappe est captive.
- L'écoulement vers le puits est en régime permanent.

$$Q = 2\pi T (h_2 - h_1) / \ln(r_2 / r_1) \quad (4)$$

Q : Débit de pompage (m<sup>3</sup>/s).

T : Transmissivité de l'aquifère (m<sup>2</sup>/s).

r<sub>2</sub> et r<sub>1</sub> : Distance entre le puits d'essai et les piézomètres (m).

h<sub>2</sub> et h<sub>1</sub> : Hauteurs piézométriques (m).

### II.10.3 - Méthodes de Theis (1935) et Jacob (1950) : (Castany.G, 1982) :

La méthode doit être satisfaisante aux hypothèses et aux conditions suivantes :

- Validité de la loi de Darcy.
- Puits correctement développé et équipé.
- Surface piézométriques subhorizontales.
- Débit de pompage constant.

L'expression générale est :

$$s = Q/4\pi T \int e^{-u} \frac{du}{u}, \text{ ou } \frac{Q}{4\pi T} \cdot w(u), \text{ avec } u = x^2 S/4Tt \quad (5)$$

s : Rabattement mesuré dans un piézomètre (m).

Q : Débit de pompage constant (m<sup>3</sup>/s).

T : Transmissivité (m<sup>2</sup>/s).

S : Coefficient d'emmagasinement.

t : Temps écoulé, à instant donné, depuis le début du pompage (secondes).

x: Distance du piézomètre à l'axe du puits, (m).

W(u) : est une fonction exponentielle intégrale décroissant.

Les termes du développement en série de la fonction exponentielle intégrale (1), deviennent négligeable comparés au premier terme constant, lorsque le temps de pompage croit et que la valeur de (x) décroît. D'où l'expression d'approximation logarithmique donnée par Jacob (1950).

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \left( \frac{\text{Log} 4Tt}{x^2 S} - 0,577216 \right) \quad (6)$$

$$\text{D'où } s = \frac{Q}{4\pi T} \cdot \text{Log} \frac{2,25Tt}{x^2} \cdot S \quad (7)$$

Soit, après résolution de l'équation (7)

$$s = \frac{0,183Q}{T} \cdot \text{Log} \frac{2,25Tt}{x^2 S} \quad (8)$$

# Chapitre III

## **ETUDE DES PROPRIETES DU MILIEU POREUX**



Les propriétés d'écoulement d'un liquide à travers des milieux poreux jouent un rôle important dans certains phénomènes physiques ou physico-chimiques.

Ces propriétés dépendent à la fois de la nature du liquide et de la géométrie de l'espace poreux.

Dans ce chapitre, nous allons passer en revue certaines caractéristiques des matériaux utilisés, par des essais effectués au laboratoire d'Hydraulique sur différents échantillons.

### **III.1 – Analyse granulométrique par voie sèche :**

La granulométrie est l'étude de la distribution statistique des tailles d'une collection d'éléments fins de matière naturelle ou fractionnée. L'analyse granulométrique est l'ensemble des opérations permettant de déterminer la distribution des tailles des éléments composant la collection. La distribution granulométrique est la représentation sous forme de tables, de nombres ou de graphiques, des résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique.

#### **III.1.1 – But de l'essai :**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63 mm, à l'exclusion des fillers. A noter qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.

#### **III.1.2 – Principe de l'essai :**

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis.

#### **III.1.3 – Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. Les passoires, qui comportent des trous ronds percés dans une tôle, ne sont plus utilisées actuellement. Pour un travail d'essai

aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis (fig.III.1).

La dimension nominale de tamis est donnée par l'ouverture de la maille, c'est-à-dire par la grandeur de l'ouverture carrée. Ces dimensions sont telles qu'elles se suivent dans une progression géométrique de raison  $\sqrt{10}$ , depuis le tamis 0.08 mm jusqu'au tamis 80mm. Pour des ouvertures inférieures à 0.08 mm, l'analyse granulométrique n'est pas adaptée et l'on peut procéder par sédimentométrie. L'existence antérieure de passoires (trous ronds) a conduit à une double classification de tamis et des passoires, tout en conservant pour chaque famille d'appareil la même progression géométrique des ouvertures.



**Fig.III.1: Tamiseuse.**  
(Laboratoire de Génie Civil. Univ. Tlemcen)

### **III.1.3 – Conduite de l'essai :**

Cet essai peut s'appliquer pour des granulats non souillés par une fraction argileuse significative. Il est alors impératif de prendre toutes les précautions nécessaires pour que les éléments fins, présents dans l'échantillon, ne soit pas perdus.

Pour les échantillons pollués par une fraction argileuse, il est nécessaire de procéder par voie humide. L'échantillon ainsi préparé est alors séché à  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Après refroidissement il est pesé jusqu'à une masse constante (masse  $M_2$ ). Le tamisage à sec peut alors être réalisé.



**Fig.III.2: La balance.**  
(Laboratoire de Génie Civil. Univ. Tlemcen)

#### **III.1.4 – Dimension des tamis utilisés :**

Les dimensions des tamis utilisés sont mentionnées dans les tableaux des résultats de la granulométrie.

#### **III.1.5 – Préparation de l'échantillon :**

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires :

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif.
- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

Dans la pratique, la masse à utiliser sera telle que  $M = 0.2 D$ ,

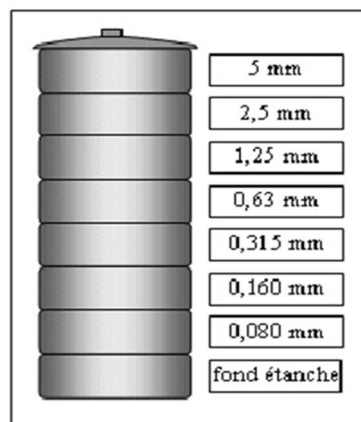
avec :  $M$  : masse de l'échantillon (Kg),  $D$  : diamètre du plus gros granulat (mm).

#### **III.1.6 – Description de l'essai :**

Le matériau sera séché à l'étuve à une température maximale de  $105 ^\circ\text{C}$ . On emboîte les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers pour une analyse complémentaire. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage.

On appellera tamisât le poids du matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids du matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture. Un étalonnage de la machine est donc nécessaire. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit  $R_1$  la masse de ce refus.



**Fig.III.3: Colonne de tamis.**

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit  $R_2$  la masse du deuxième refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés  $R_n$  aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne. La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ.

### **III.1.7 – Expression des résultats des courbes granulométriques :**

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisâts cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur

une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée de manière continue et ne peut pas passer rigoureusement par tous les points.

### III.1.8 – Exploitation des résultats :

#### III.1.8.1 – Le sable :

**Tableau.1 : Résultats de la granulométrie du sable.**

Ouverture de tamis (mm)	Refus (Kg)	Refus cumulés (Kg)	Tamisât cumulé (Kg)	Pourcentage du tamisât cumulé(%)
2	0.088	0.088	1.912	95.6
1.25	0.096	0.184	1.816	93.3
0.8	0.006	0.190	1.810	90.5
0.63	0.012	0.202	1.798	89.9
0.5	0.082	0.284	1.716	85.8
0.25	1.620	1.904	0.096	4.8
0.2	0.074	1.978	0.022	1.1
0.125	0.014	1.992	0.008	0.4
0.08	0.006	1.998	0.002	0.1
Le fond	0.002	2	0	0

A partir de la courbe granulométrique (fig.III.4), nous pouvons extraire le  $D_{10}$  (diamètre de tamis laissant passer 10% du matériau) qui est égale à 0.24 mm et le  $D_{60}$ (diamètre de tamis laissant passer 60% du matériau) qui est égale à 0.4mm.

- **Calcul du coefficient d'uniformité (Cu)**

$$Cu = D_{60} / D_{10}(1)$$

$Cu = 1.51 \rightarrow Cu < 2$ , donc le sable est uniforme.

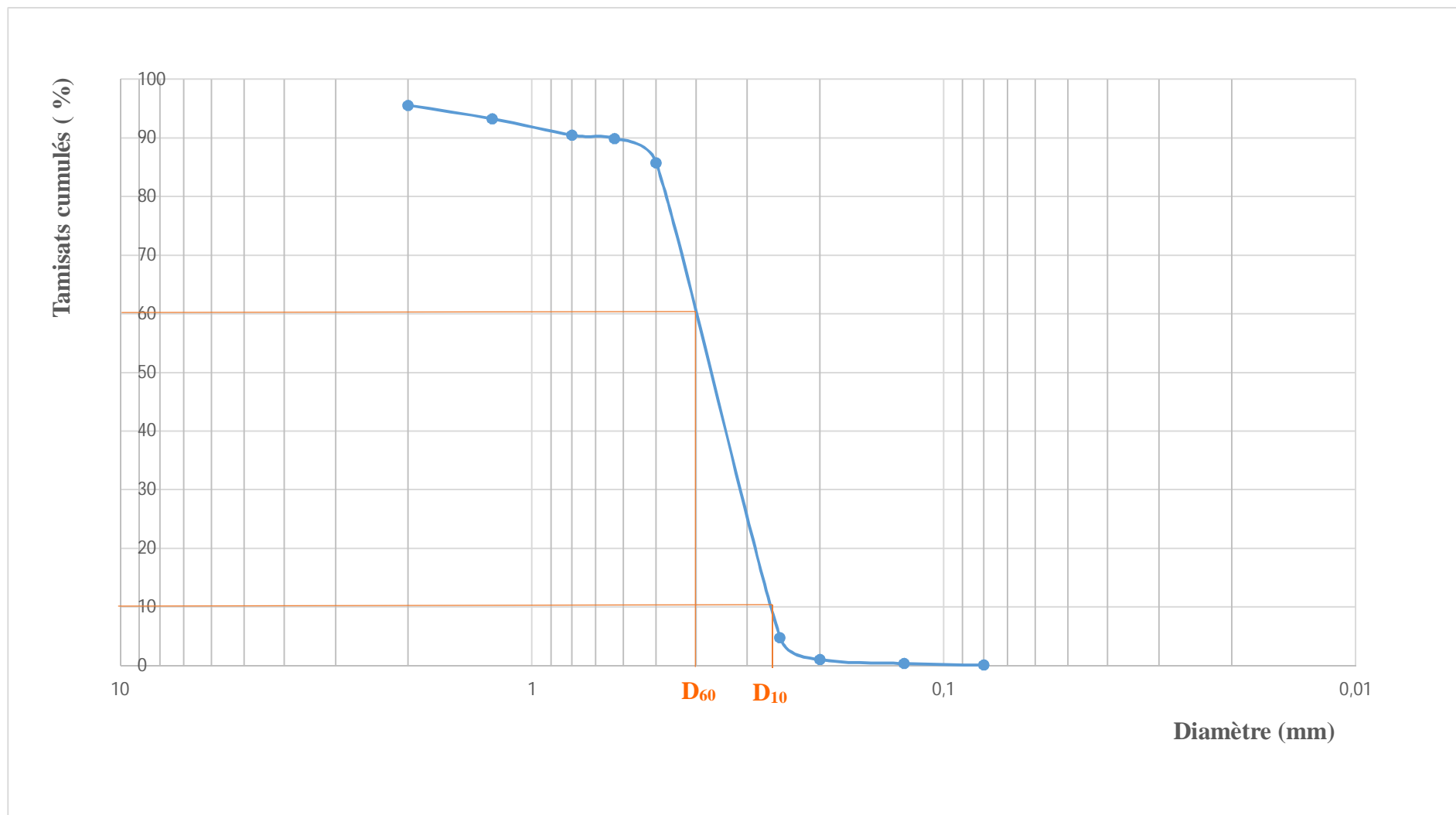


Fig.III.4: Courbe granulométrique du sable utilisé.

## III.1.8.2 – Le gravier grossier :

Tableau. 2 : Résultats de la granulométrie du gravier grossier.

Ouverture de tamis (mm)	Refus (Kg)	Refus cumulés (Kg)	Tamisât cumulés (Kg)	Pourcentage du tamisât cumulés(%)
10	0.006	0.006	1.994	99.7
8	0.150	0.156	1.844	92.2
6.30	0.608	0.764	1.236	61.8
5	0.513	1.277	0.723	36.15
4	0.559	1.836	0.164	8.2
3.15	0.065	1.901	0.099	4.95
2.4	0.022	1.923	0.077	3.85
2	0.008	1.931	0.069	3.45
Le fond	0.062	1.993	0.007	0.35

A partir de la courbe granulométrique on a déduit le  $D_{10}$  qui égale à 4.25 mm et le  $D_{60}$  qui égale 6.4 mm.

- Calcul du coefficient d'uniformité (Cu) :

$Cu = 1.51$      $Cu < 2$     Donc, le gravier grossier est uniforme.

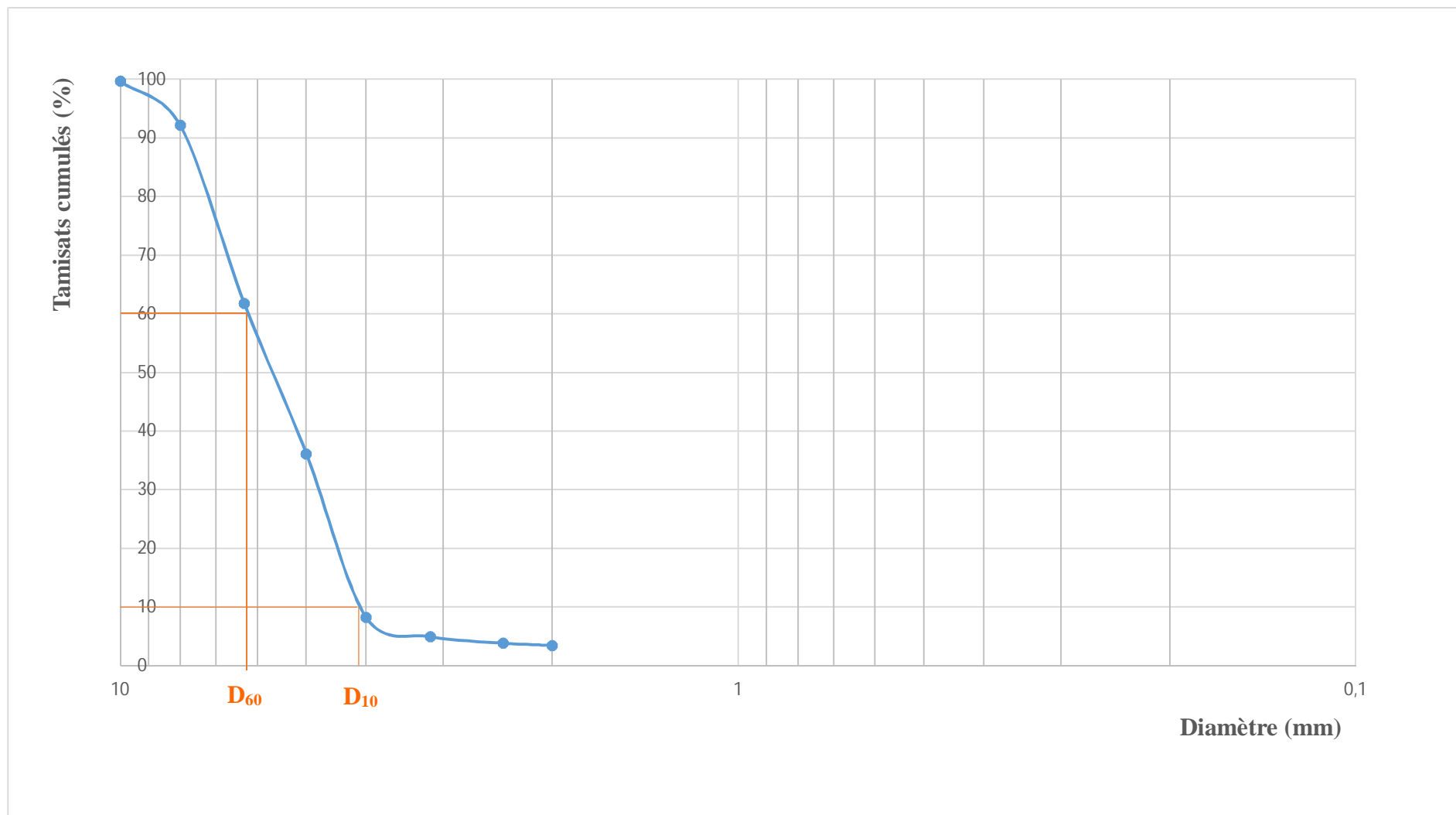


Fig.III.5: Courbe granulométrique du gravier grossier.



## III.1.8.3 – Le gravier fin :

Tableau. 3 : Résultats de la granulométrie du gravier

Ouverture de tamis (mm)	Refus (Kg)	Refus cumulés (Kg)	Tamisâts cumulés (Kg)	Pourcentage du tamisâts cumulés(%)
8	0	0	2000	100
6.30	10	10	1990	99.5
5	20	30	1970	98.5
4	270	300	1700	85
3.15	446	746	1254	62.7
2.4	594	1340	660	33
2	384	1724	276	13.8
1.25	192	1916	84	4.2
1	38	1954	46	2.3
Fond	46	2000	0	0

A partir de la courbe granulométrique on a déduit le  $D_{10}$  qui égale à 1.7 mm et le  $D_{60}$  qui égale 3.15 mm.

- Calcul du coefficient d'uniformité (Cu)

$$Cu = 1.85 \quad Cu < 2 \quad \text{Donc : le gravier est uniforme.}$$

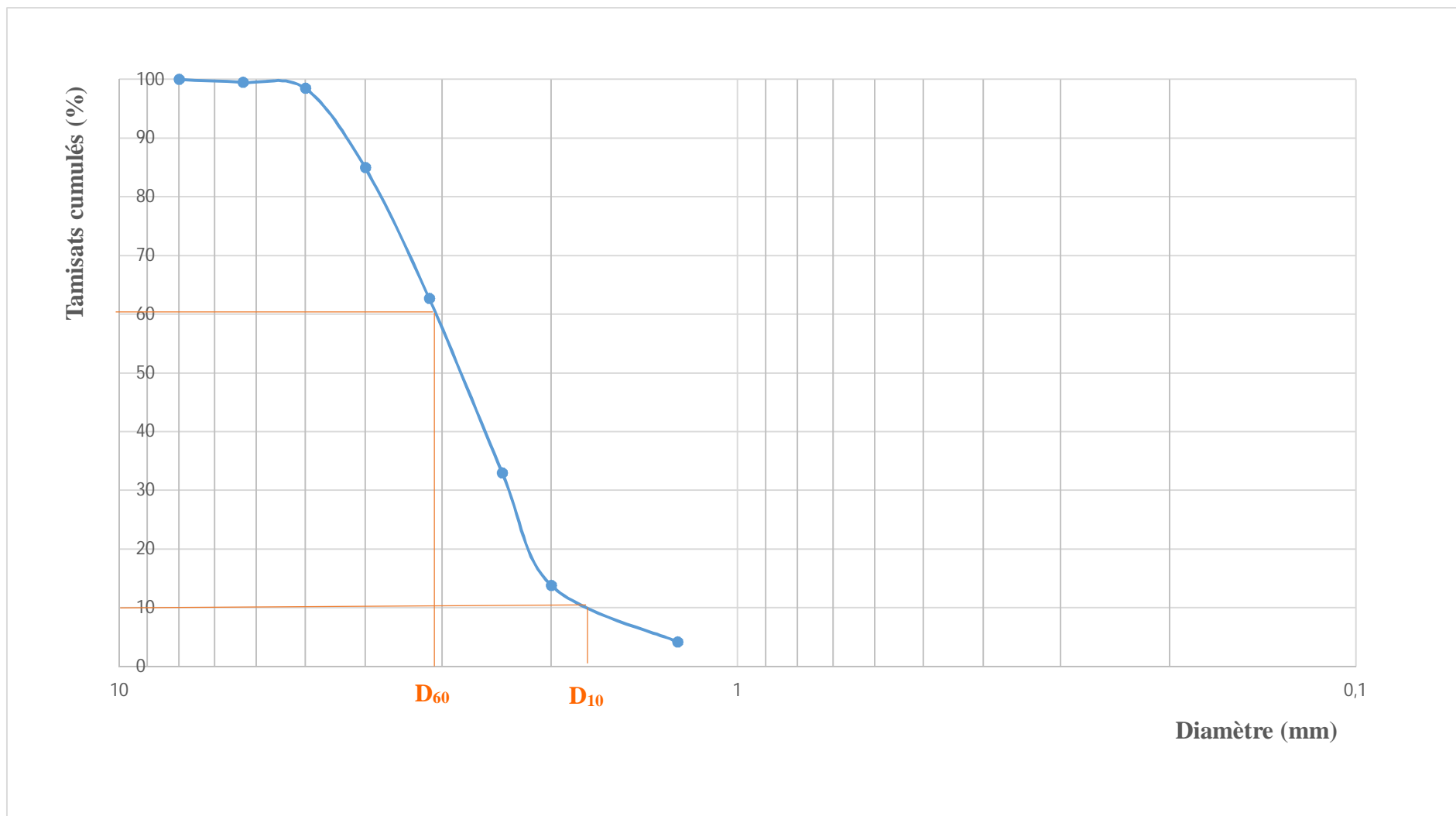


Fig.III.6: Courbe granulométrique du gravier fin utilisé.

**III.1.8.4 – Le mélange :**

On a préparé une formation constitué par un mélange de 45% du gravier, 45% du sable et 10% d'une argile-gréseuse semi-perméable.

**Tableau. 4 : Résultats de la granulométrie du mélange.**

Ouverture de tamis (mm)	Refus (Kg)	Refus cumulés (Kg)	Tamisâts cumulés (Kg)	Pourcentage du tamisâts cumulés(%)
8	0.024	0.024	1.976	98.8
6.3	0.0228	0.052	1.948	97.4
5	0.022	0.074	1.928	96.3
4	0.116	0.190	1.810	90.5
3.15	0.182	0.372	1.628	81.4
2.4	0.240	0.612	1.388	69.4
2	0.180	0.792	1.208	64
1.25	0.162	0.954	1.046	52.3
1	0.026	0.980	1.020	51
0.8	0	0.980	1.020	51
0.63	0.020	1.000	1.000	50
0.5	0.090	1.090	0.910	45.5
0.315	0.692	1.782	0.218	10.9
0.2	0.192	1.974	0.026	1.3
0.125	0.006	1.980	0.020	1
0.08	0.01	1.990	0.010	0.5
Fond	0.01	2	0	0

A partir de la courbe granulométrique on a déduit le  $D_{10}$  qui égale à 0,315 mm et le  $D_{60}$  qui égale 1,7 mm.

- **Calcul du coefficient d'uniformité (Cu) :**

$Cu = 5.39$      $Cu > 2$     Donc : le mélange est hétéroforme.

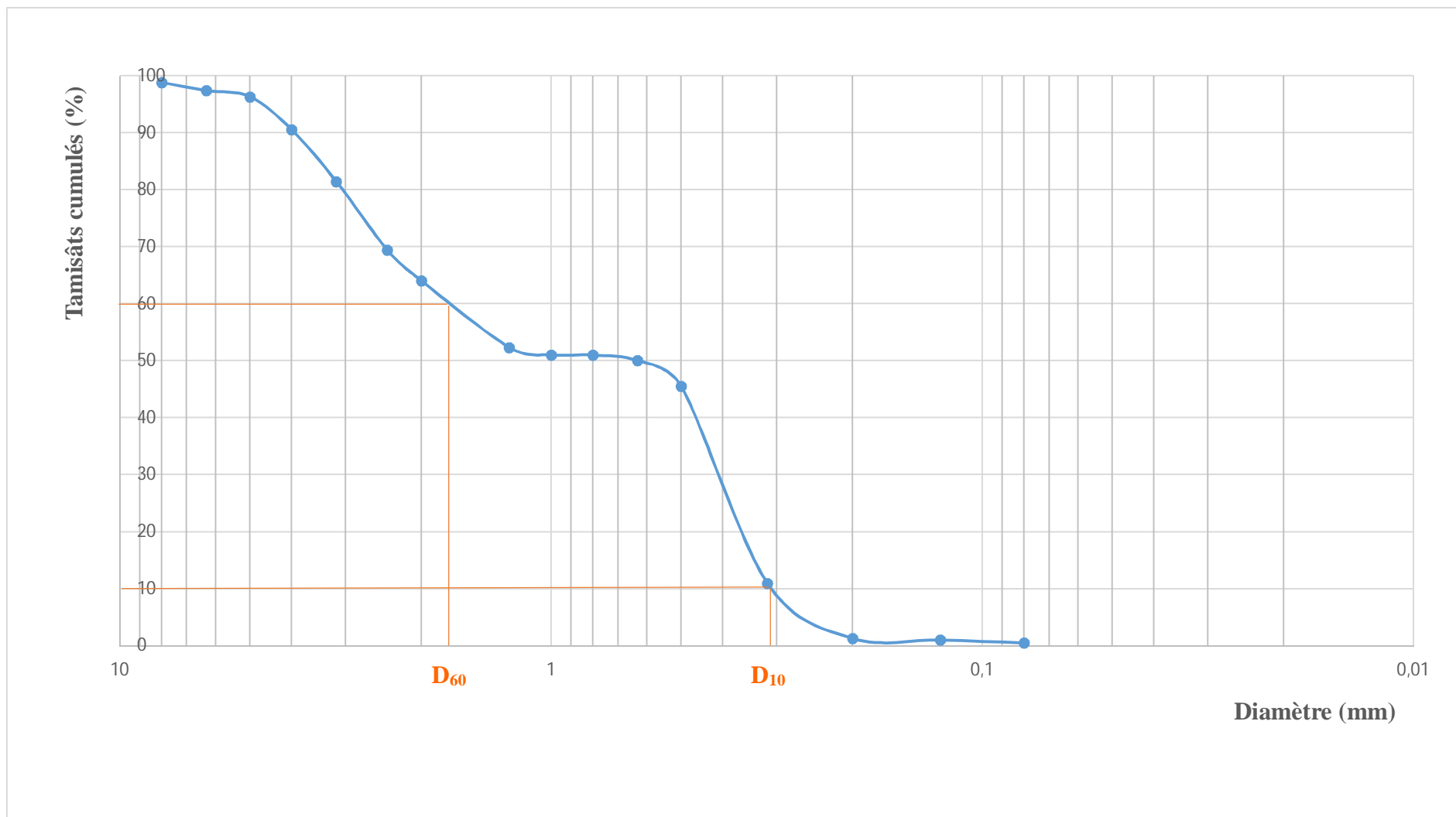


Fig.III.7: Courbe granulométrique du mélange utilisé.

## III.2 – Perméamètre :

### III.2.1 – But de l'essai :

L'essai a pour but de déterminer en laboratoire, le coefficient de perméabilité à l'eau. Ce dernier et aussi appelé le coefficient de Darcy, peut être déterminé suivant deux méthodes : à charge constante ou à charge variable décroissante.

Dans notre cas nous avons utilisé un perméamètre à charge constante (Fig.III.8)

### III.2.2 – Principe de la méthode :

L'essai consiste à soumettre au laboratoire, des éprouvettes de sols à un écoulement de l'eau. L'échantillon de sol est soumis à une charge hydraulique connue constante ou variable. On mesure alors la différence de la hauteur d'eau qui traverse l'échantillon du matériau pendant un temps donné. Les résultats obtenus servent à calculer le coefficient de perméabilité ou le coefficient de Darcy.

### III.2.3 – matériel nécessaire :

- Un perméamètre avec accessoires.
- Un support de perméamètre avec accessoires.
- Un panneau de tubes piézomètres.
- Un réservoir d'eau (alimentation).
- Une éprouvette graduée.
- Un chronomètre.
- Un bassin pour retenir l'eau.



**Fig.III.8: Perméamètre à charge constante.  
(Laboratoire d'Hydraulique, Univ. Tlemcen)**

### III.3 – Calcul de la perméabilité :

#### III.3.1 – A partir de la granulométrie :

La perméabilité est calculée à partir de la formule de Hazen :

$$K = C.D_{10}^2 \quad (9)$$

C : constante qui dépend du diamètre moyen des grains et qui varie entre 100 et 116 (d'après Hazen). Nous avons pris C = 100 pour le sable et C = 116 pour le gravier.

**Tableau.5: Valeurs de la perméabilité à partir de la formule de Hazen.**

Formations	D <sub>10</sub> (mm)	Perméabilité (K) (m/s)
Sable	0.24	5,76.10 <sup>-4</sup>
Gravier grossier	4.25	2,1
Gravier	1.7	3,35.10 <sup>-1</sup>
mélange	0.315	1,07.10 <sup>-2</sup>

#### III.3.2 – A partir du perméamètre :

$$K = D \left( \frac{H_m}{\pi} \right) R^2 \cdot H \quad (10)$$

K : Perméabilité (m/s).

D : Débit (m<sup>3</sup>/s).

H<sub>m</sub> : Hauteur du matériau (m).

H<sub>w</sub> : hauteur d'eau dans les tubes piézomètres (unité).

**Tableau. 6 : Valeurs de la perméabilité à partir du perméamètre.**

Essai	Débit (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>m</sub> (m)	H <sub>w</sub> (m)	π.R <sup>2</sup>	K (m/s)
Sable	0.166	58	37	9,15.10 <sup>-3</sup>	3,38.10 <sup>-4</sup>
Gravier	0.125	60	40	9,15.10 <sup>-3</sup>	3,205.10 <sup>-2</sup>

## III.3.3 – A partir du banc d'essai d'après la loi de Darcy

$$Q = K \cdot S \cdot i \quad \text{Donc :} \quad K = \frac{Q}{S \cdot i} \quad (11)$$

Q : Débit d'alimentation (m<sup>3</sup>/s).

S : Superficie du banc d'essai (m<sup>2</sup>).

i : Gradient hydraulique.

$$i = \frac{H_{20} - H_1}{L} \quad (12)$$

H<sub>1</sub> : Niveau d'eau dans le piézomètre n°1 (m).

H<sub>20</sub> : Niveau d'eau dans le piézomètre n°20 (m).

H<sub>20</sub> – H<sub>1</sub> : Différence de la charge (m).

L : la distance entre H<sub>20</sub> – H<sub>1</sub>(m).

**Tableau.7: Valeurs de la perméabilité des différentes formations.**

Méthode	Perméabilité (m/s)		
	Sables	Gravier	Mélange
Granulométrie	5,76.10 <sup>-4</sup>	3,35.10 <sup>-1</sup>	1,07.10 <sup>-2</sup>
Perméamètre	3,38.10 <sup>-4</sup>	3,20.10 <sup>-2</sup>	/
Banc d'essai	5,25.10 <sup>-4</sup>	1,1.10 <sup>-2</sup>	/

# Chapitre *IV*

## **ETUDE EXPERIMENTALE**



Pour réaliser cette étude plusieurs manipulations ont été tentées :

#### IV.1- Manipulation n° 1 :

Pour cette manipulation nous avons effectué des mesures en absence de tout pompage et pendant 20 minutes d'alimentation.

Débit d'alimentation :  $Q = 3\text{L/mn}$  ;  $Q = 4\text{L/mn}$ .

Sans pompage et avec décharge, les résultats sont illustrés dans les tableaux (8, 24) et figures (20, 21, 70,71).

#### IV.2 - Manipulation n° 2 :

Nous avons créé une décharge en aval du banc hydrologique en effectuant un pompage dans les puits A, B, A+B dans les diverses formations.

Débit d'alimentation  $Q = 3\text{L/mn}$ ,  $4\text{L/mn}$ .

##### Sable – Gravier :

Débit de pompage au puits A:  $Q = 0.085\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.1\text{ L/s}$ .

Débit de pompage au puits B:  $Q = 0.01\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.1\text{ L/s}$ .

Débit de pompage aux puits A+B:  $Q = 0.095\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.1\text{ L/s}$ .

##### Gravier – Sable :

Débit de pompage au puits A:  $Q = 0.065\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.025\text{ L/s}$ .

Débit de pompage au puits B:  $Q = 0.24\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.025\text{ L/s}$ .

Débit de pompage au puits A+B:  $Q = 0.30\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.025\text{ L/s}$ .

##### Multicouche :

Débit de pompage au puits A:  $Q = 0.04\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.12\text{ L/s}$ .

Débit de pompage au puits B:  $Q = 0.06\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.12\text{ L/s}$ .

Débit de pompage au puits A+B:  $Q = 0.1\text{ L/s}$ . Débit de la décharge  $Q = 0.12\text{ L/s}$ .

Les résultats sont représentés dans les tableaux (9,10, 11, 18, 19, 20, 25, 26, 27) et fig.20, 21, ... 90).

**IV.3 - Manipulation n° 3:**

Dans cette manipulation nous nous sommes intéressés à l'aquifère avec pompage sans décharge, ce qui suppose que l'aquifère est limité à l'aval par une limite étanche.

**Sable – Gravier :**

Débit de pompage au puits A :  $Q = 0.085$  L/s.

Débit de pompage au puits B :  $Q = 0.01$  L/s.

**Gravier – Sable :**

Débit de pompage au puits A :  $Q = 0.065$  L/s.

Débit de pompage au puits B :  $Q = 0.24$  L/s.

**Multicouche :**

Débit de pompage au puits A :  $Q = 0.04$  L/s.

Débit de pompage au puits B :  $Q = 0.06$  L/s.

**Mélange :**

Débit de pompage au puits A :  $Q = 0.05$  L/s.

Débit de pompage au puits B :  $Q = 0.045$  L/s.

Les résultats sont représentés dans les tableaux (12,13,14,15,16,17,21,22,13,28,29,30) et les fig. IV.20, Fig.IV.21, ...; Fig.IV.90).

#### IV.4 – Présentation des résultats :

Dans cette étude nous avons réalisé plusieurs essais au niveau du banc hydrologique du laboratoire du département d'Hydraulique de l'université de Tlemcen, où, un certain nombre de manipulations ont été tentées sur les formations suivantes :

##### IV.4.1 – SABLE-GRAVIER :

Dans cet essai nous avons utilisé une formation constituée de deux matériaux de 10 cm d'épaisseur de chaque côté « sable (côté gauche du banc) et gravier (côté droit du banc) » (fig. V.5).

Les manipulations sont réalisées sous les conditions suivantes :

Les débits d'alimentations jusqu'à la saturation des matériaux : 3 L/min et 4 L/min.

Les débits de pompage : 0.11 L/s au niveau du puits A et 0.09 L/s au niveau du puits B.

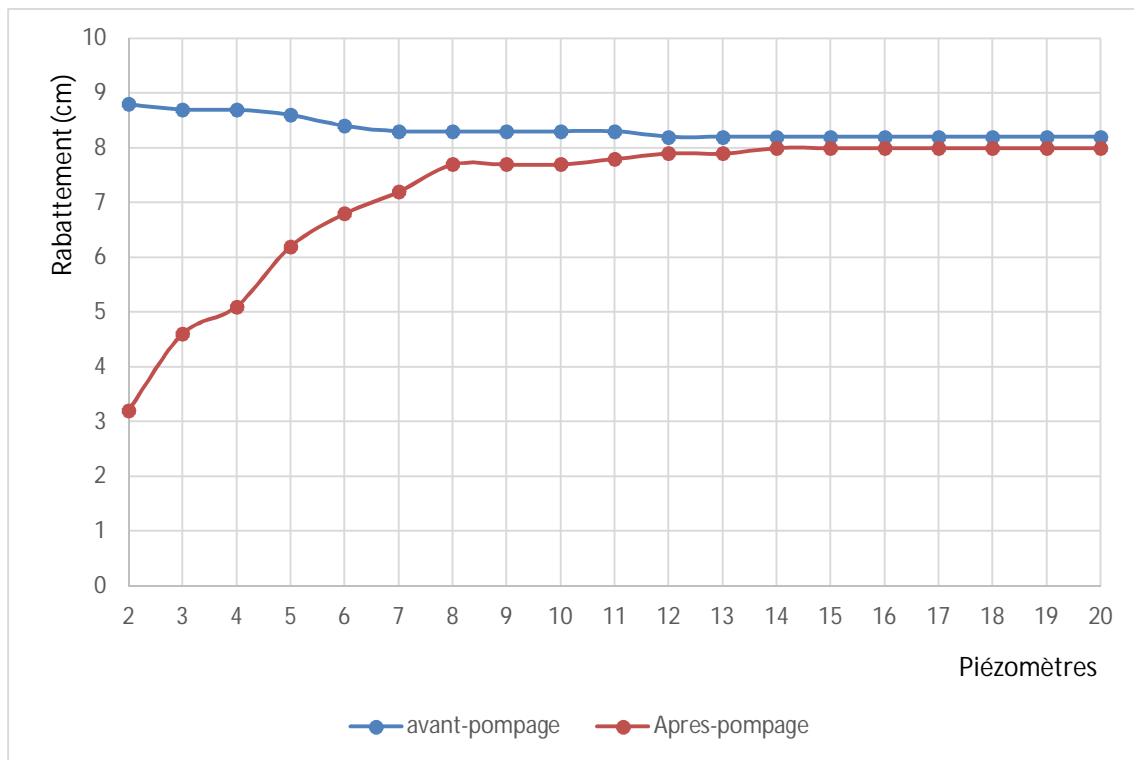


Fig.IV.1: Disposition du matériau aquifère dans le banc (Sable-Gravier).

**IV.4.1.1 –Essai de la décharge sans pompage**

La fermeture de la décharge (exutoire de la nappe), provoque la présence d'un barrage souterrain. Le niveau piézométrique s'élève au niveau du sable saturé créant une inversion de l'écoulement. L'eau passe du milieu le moins perméable (sable  $K = 5,76.10^{-4}$  m/s) vers le milieu le plus perméable (Gravier  $K = 3,3524.10^{-1}$  m/s) (fig. IV.3).

Après l'ouverture de la décharge, le sens d'écoulement revient à son état normal de l'amont vers l'aval (fig. IV.4). Le déversement avec un débit plus important que l'alimentation provoque un rabattement brusque à partir du piézomètre 5 (à 80cm de la décharge) et pouvant atteindre 5cm/8cm (fig. IV.3).



**Fig.IV.2: Profil piézométrique avant et après l'ouverture de la décharge sans pompage. (Formation sable – gravier).**

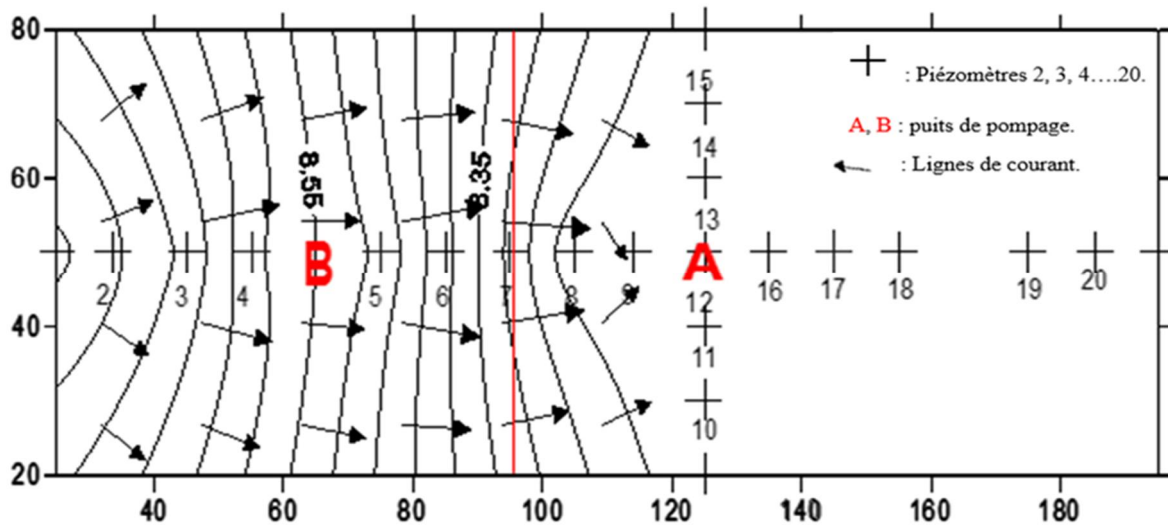


Fig. IV.3: Carte piézométrique avant l'ouverture de la décharge.  
(Formation sable – gravier).

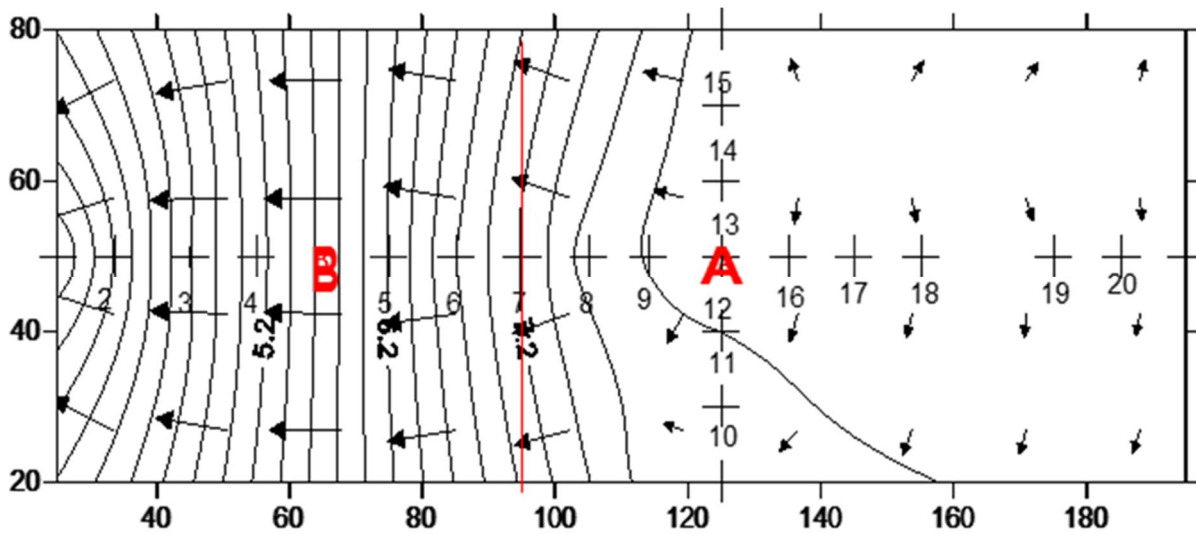


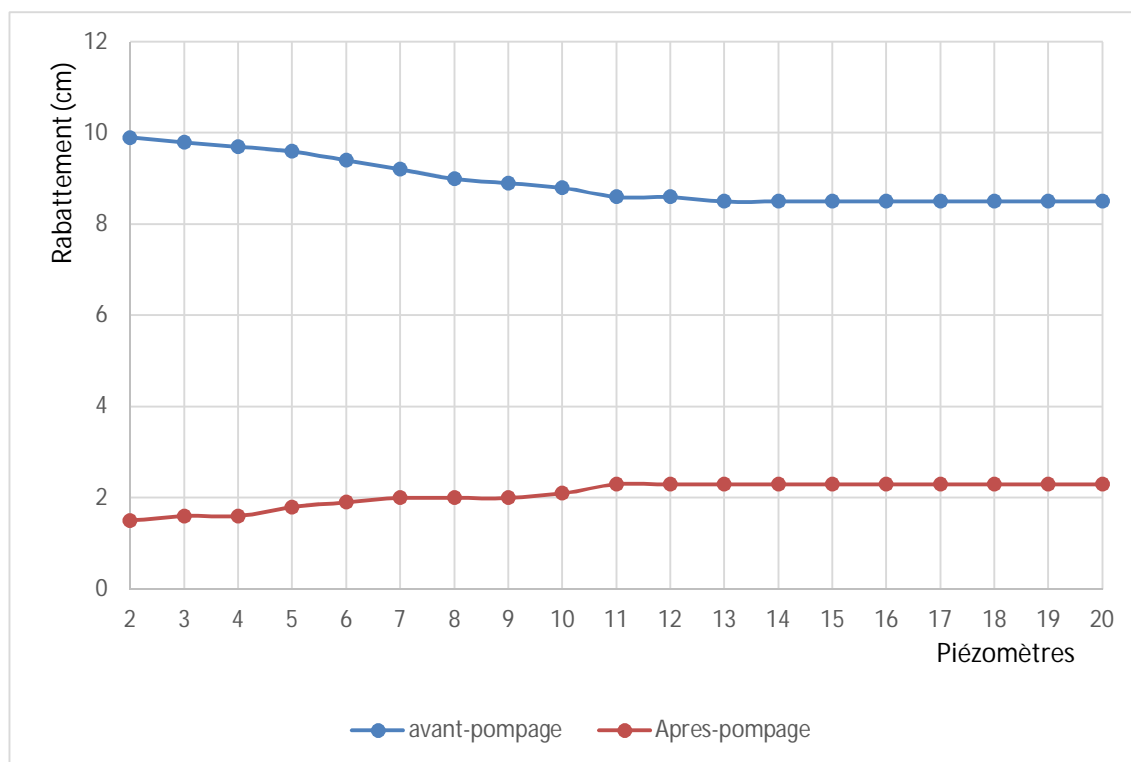
Fig.IV.4: Carte piézométrique après l'ouverture de la décharge.  
(Formation sable – gravier).

#### IV.4.1.2 –Essai de pompage effectué au puits A avec décharge :

La décharge fermée, nous sommes à l'état initial, niveau piézométrique au niveau max, avec légère pente vers l'amont.

Après ouverture de la décharge et pompage au puits A avec un débit de 0.085L/s, une légère dépression s'est produite autour du puits de pompage (Fig.IV.7), toutefois la décharge avec un débit de 0.02L/s permet à l'écoulement de garder une direction vers l'exutoire (Fig.IV.7).

Après 12 minutes, l'action conjuguée du puits et de la décharge génère un gradient global assez faible avec une vidange importante de la nappe.



**Fig.IV.5: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A avec décharge. (Formation sable – gravier).**

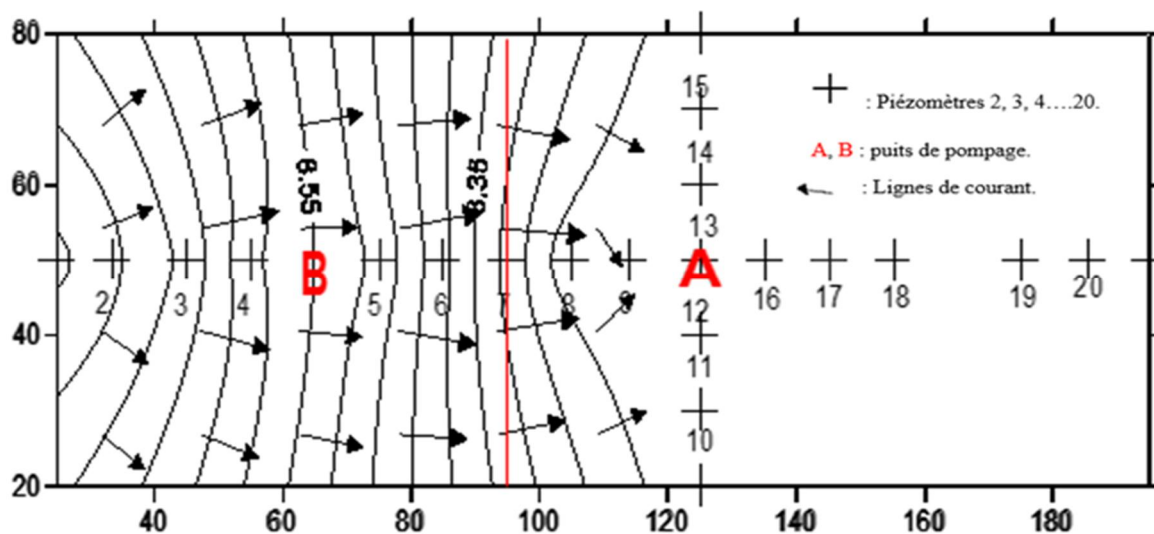


Fig.IV.6: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits A et avec une décharge. (Formation sable – gravier).

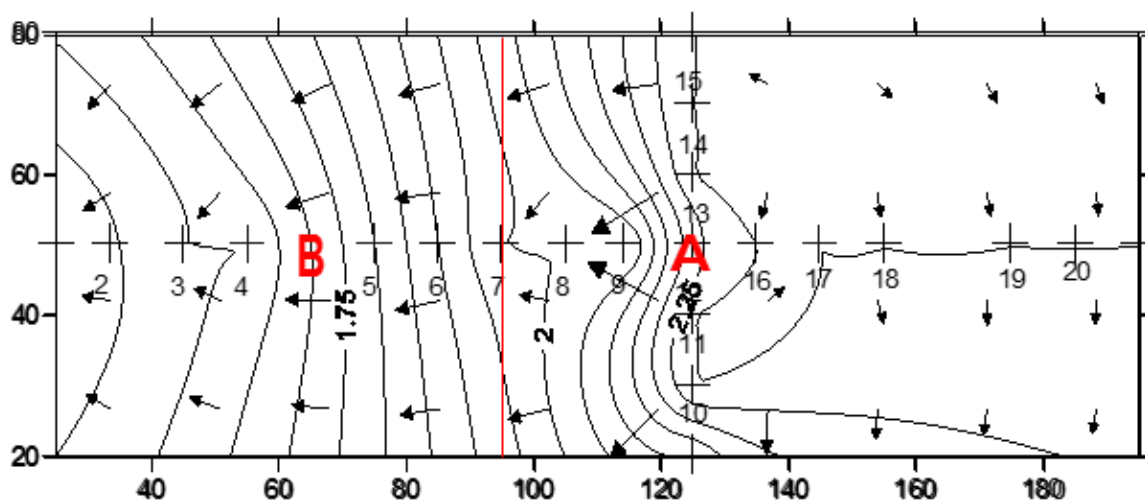
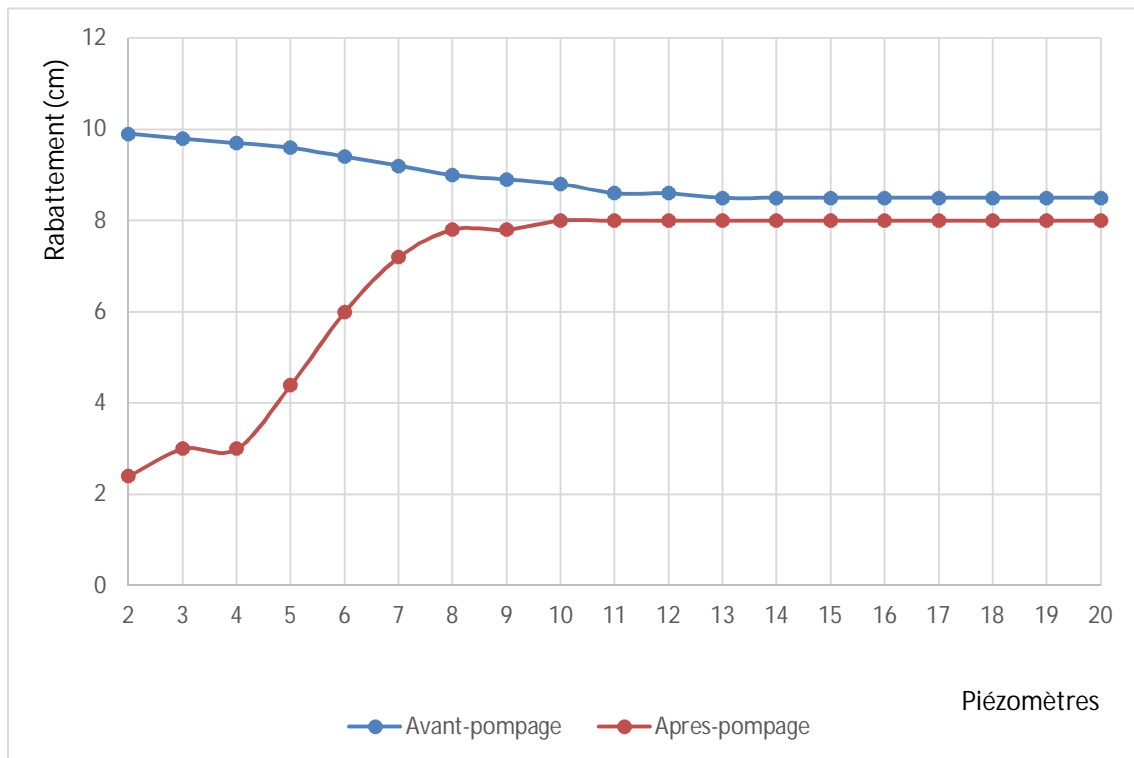


Fig.IV.7: Carte piézométrique de l'après pompage au puits A et avec une décharge. (Formation sable – gravier).

**IV.4.1.3 – Essai de pompage effectué au puits B avec décharge :**

En partant de l'état initial, aquifère saturé et décharge fermée, l'ouverture de la décharge associée à un pompage au puits B vont créer un appel d'eau important de l'amont du banc créant ainsi une zone à gradient hydraulique élevé à partir du centre (piézomètre n°7) jusqu'au puits B. La baisse du niveau est rapide, nous passons de 7,4cm à 3,4cm sur une distance de 40cm d'où un gradient de 10%. Le débit de pompage plus faible que celui de la décharge ne permet pas la formation de dépression autour du puits B.



**Fig.IV.8 : Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B avec décharge. (Formation sable – gravier).**



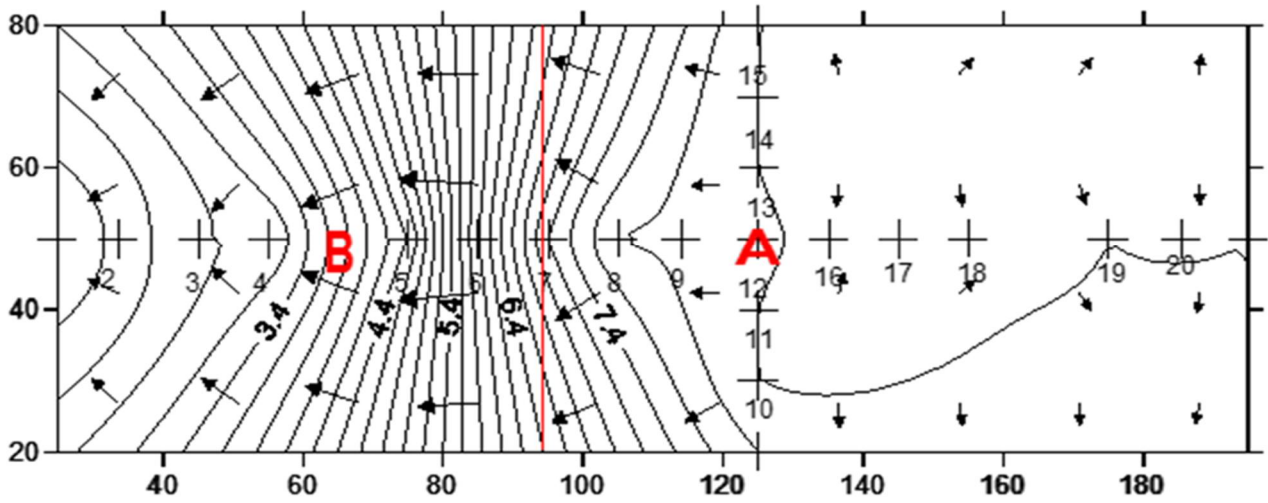


Fig.IV.9: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits B et avec une décharge. (Formation sable – gravier)

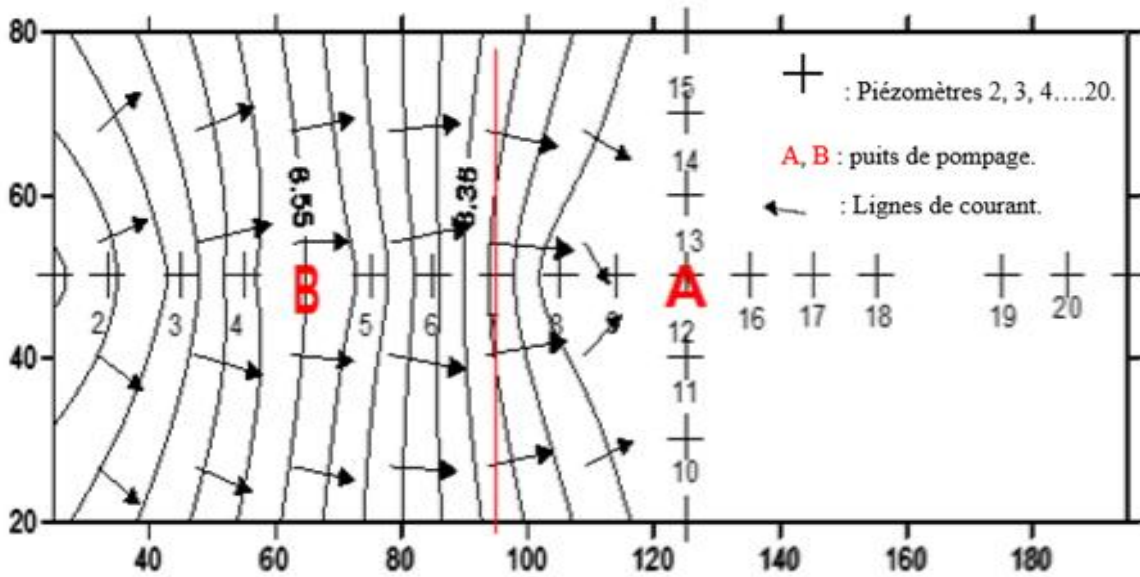
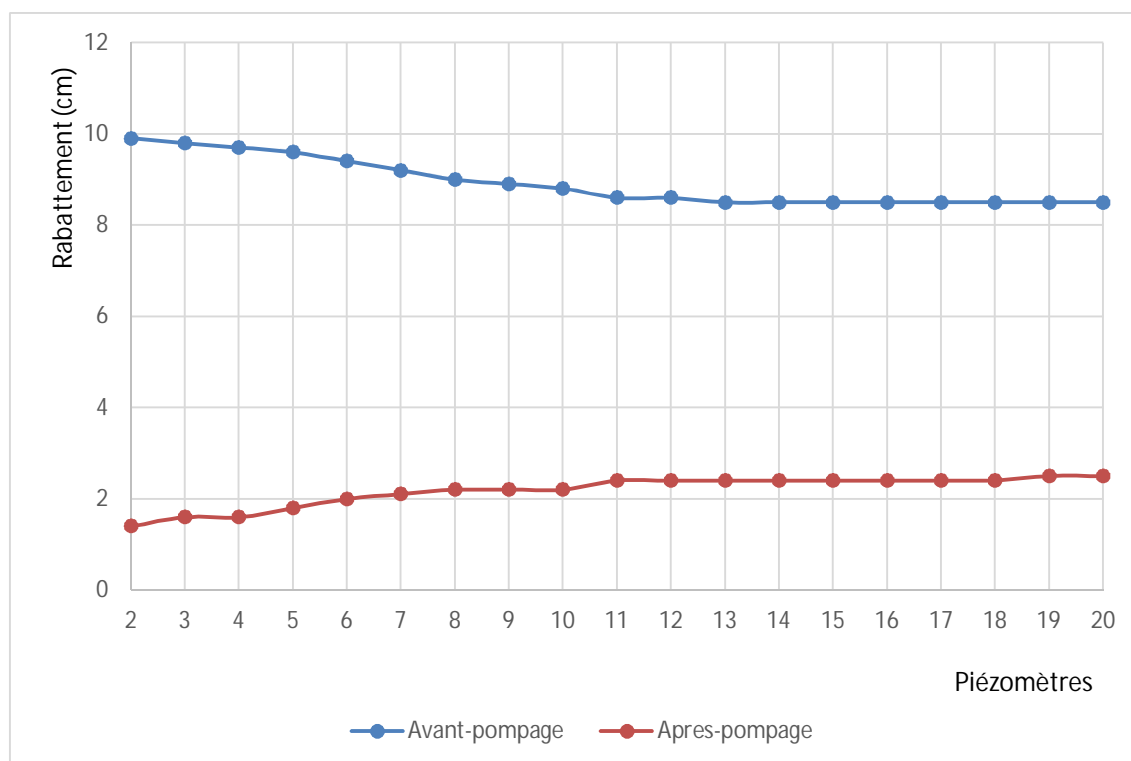


Fig.IV.10: Carte piézométrique de l'après pompage au puits B et avec une décharge. (Formation sable – gravier).

**IV.4.1.4 –Essai de pompage effectué aux puits A et B avec décharge :**

L'écoulement se dirige vers l'aval c'est-à-dire vers la décharge car le débit de la décharge est supérieur à l'ensemble des débits des puits A et B.

( $Q_d = 0.1L/s$ ,  $Q_A = 0.01L/s$ ,  $Q_B = 0.085L/s$ ).



**Fig.IV.11: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B avec décharge. (Formation sable – gravier).**

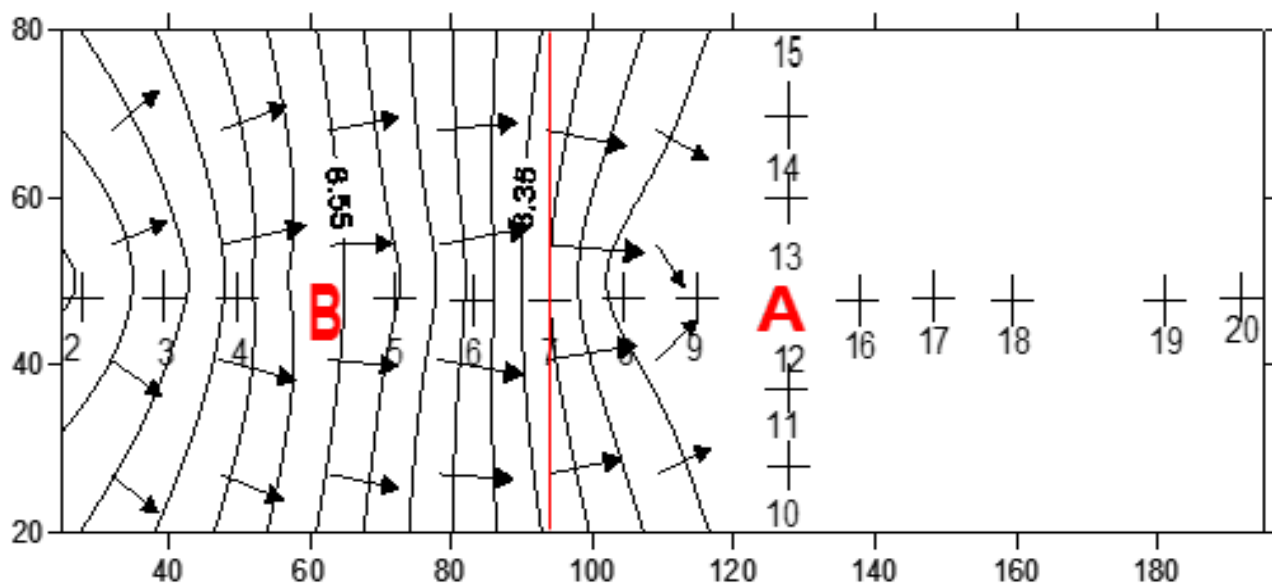


Fig.IV.12: Carte piézométrique de l'avant pompage aux puits A et B et avec une décharge. (Formation sable – gravier).

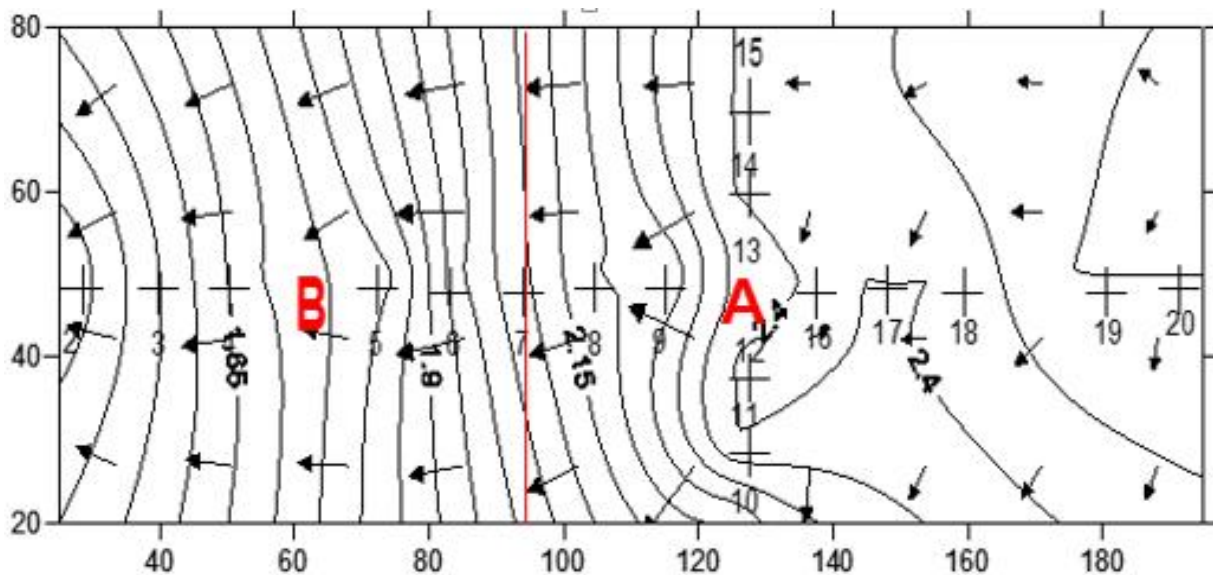
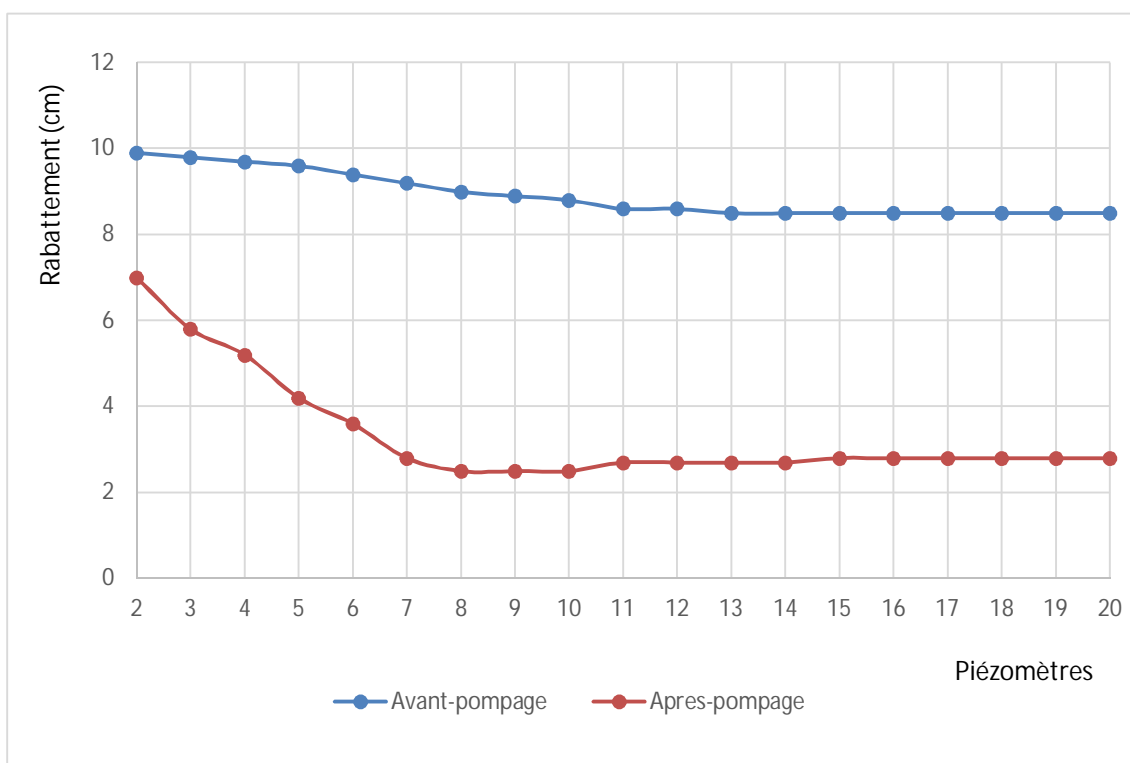


Fig.IV.13: Carte piézométrique de l'après pompage aux puits A et B avec une décharge. (Formation sable – gravier).

**IV.4.1.5 - Essai de pompage effectué au puits A sans décharge :**

Après 6 min, le pompage en A avec un débit de 0.085L/s et sans décharge crée une dépression dissymétrique importante autour du puits A, dont le rayon d'influence est plus large avec un rabattement de 6 cm sur l'ensemble du gravier. Dans le sable à l'aval, le pompage provoque un gradient hydraulique de plus de 8%.



**Fig.IV.14: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge. (Formation sable – gravier).**

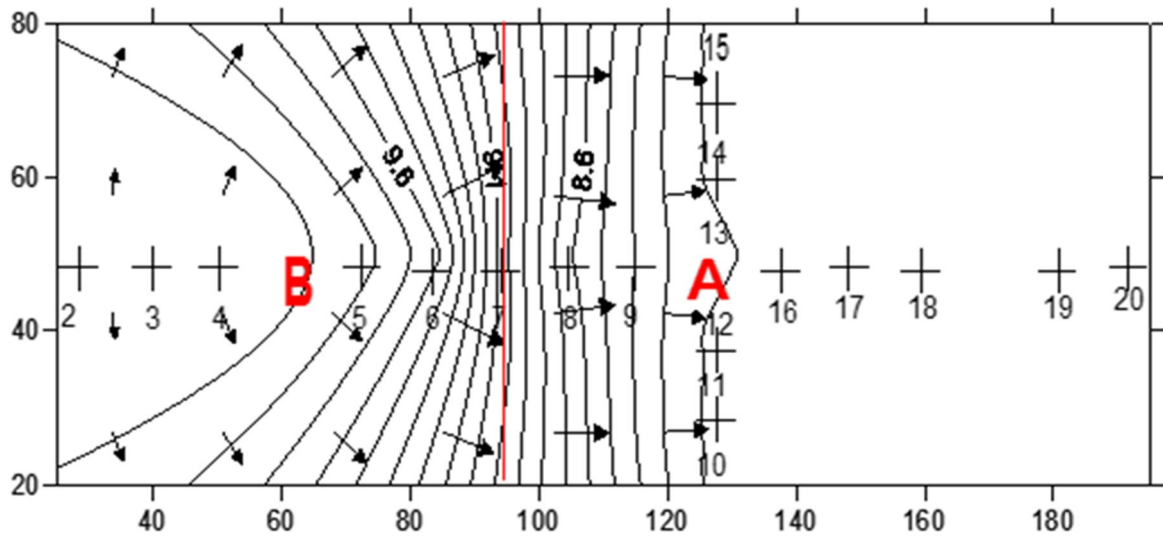


Fig.IV.15: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits A sans décharge.  
(Formation sable – gravier).

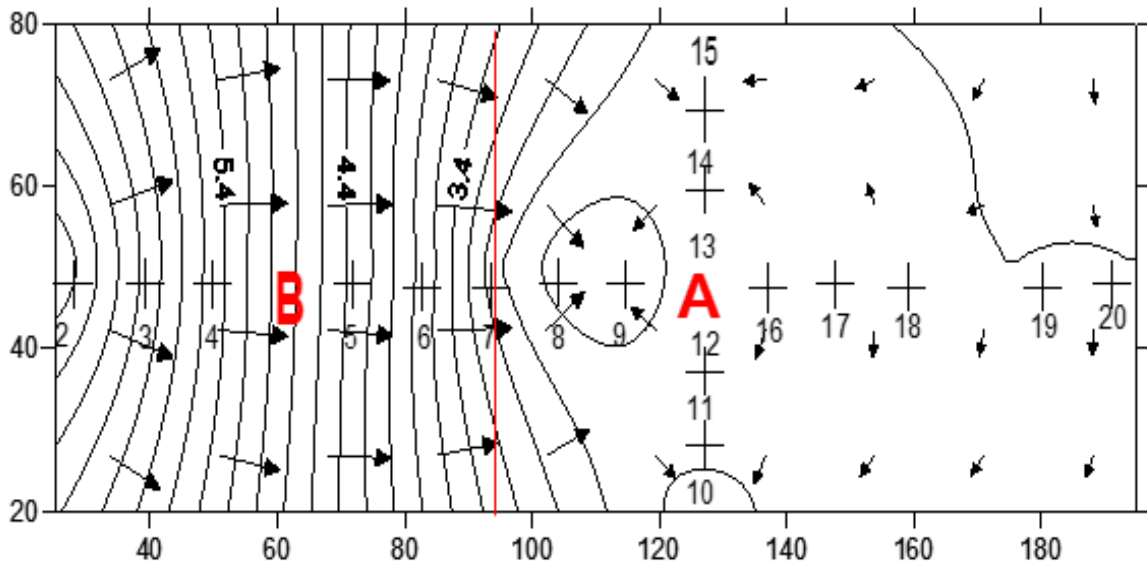
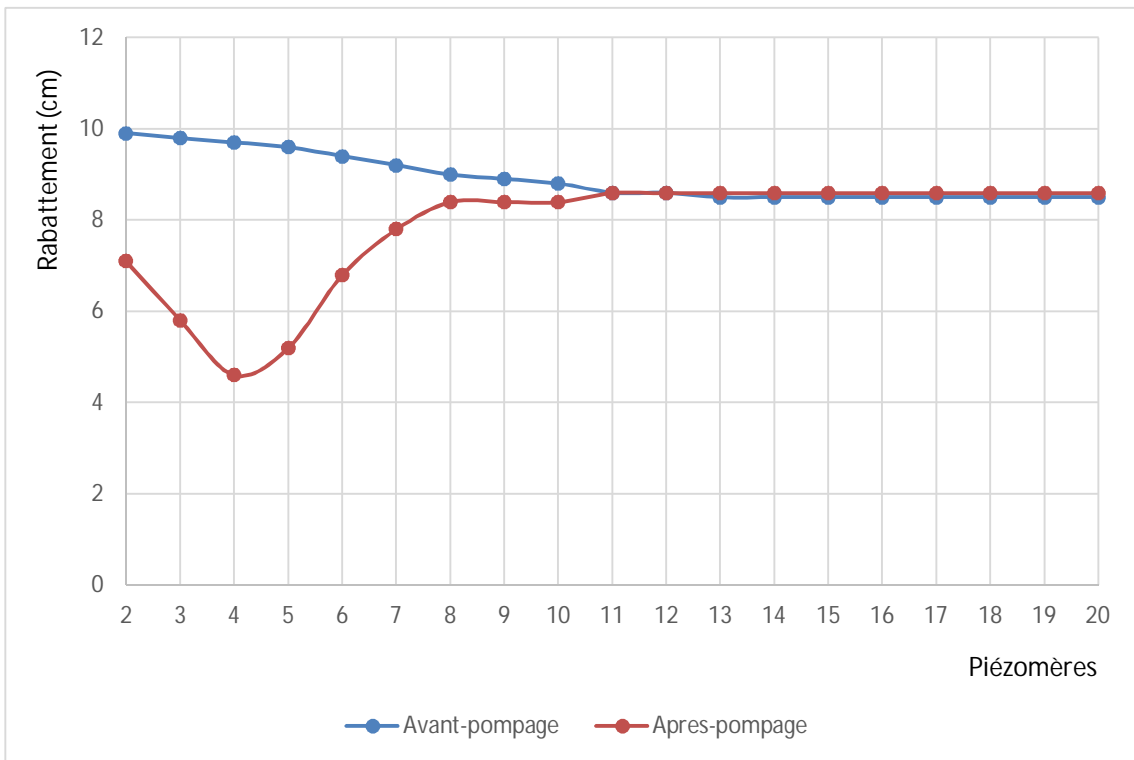


Fig.IV.16: Carte piézométrique de l'après pompage au puits A sans décharge  
(Formation sable – gravier).

**IV.4.1.6 - Essai de pompage effectué au puits B sans décharge :**

Après la deuxième minute avec pompage à 0.01 L/s, nous observons une grande dépression plus ou moins symétrique d'un rayon d'influence de 3cm au niveau du puits B, le rabattement maximum se stabilise à 4,6cm.



**Fig.IV.17: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge. (Formation sable – gravier).**

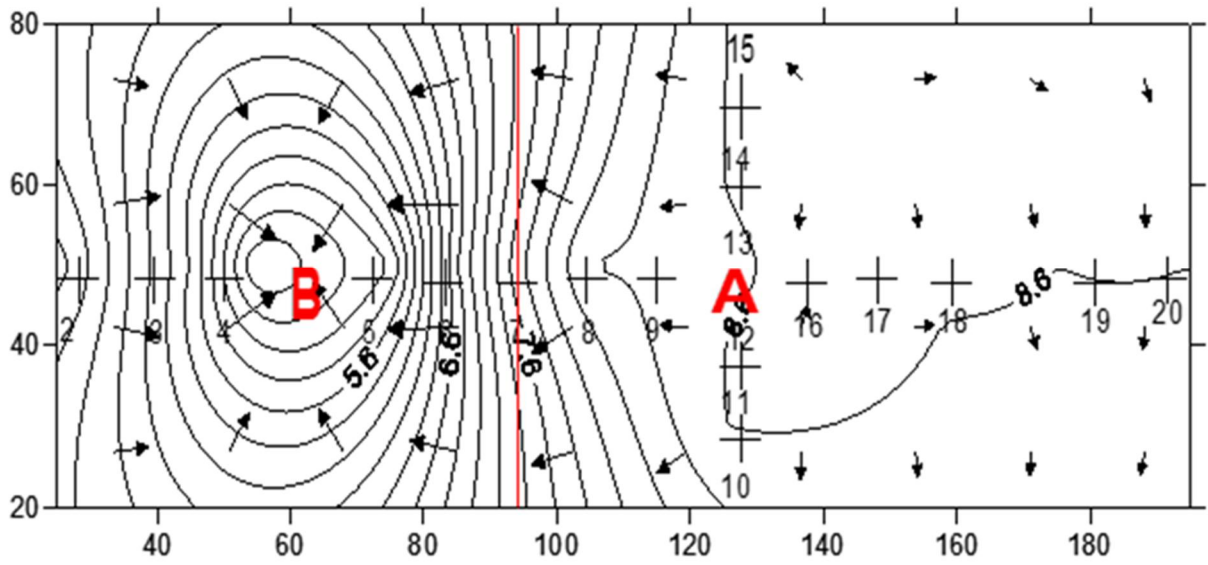


Fig.IV.18: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits B sans décharge.  
(Formation sable – gravier)

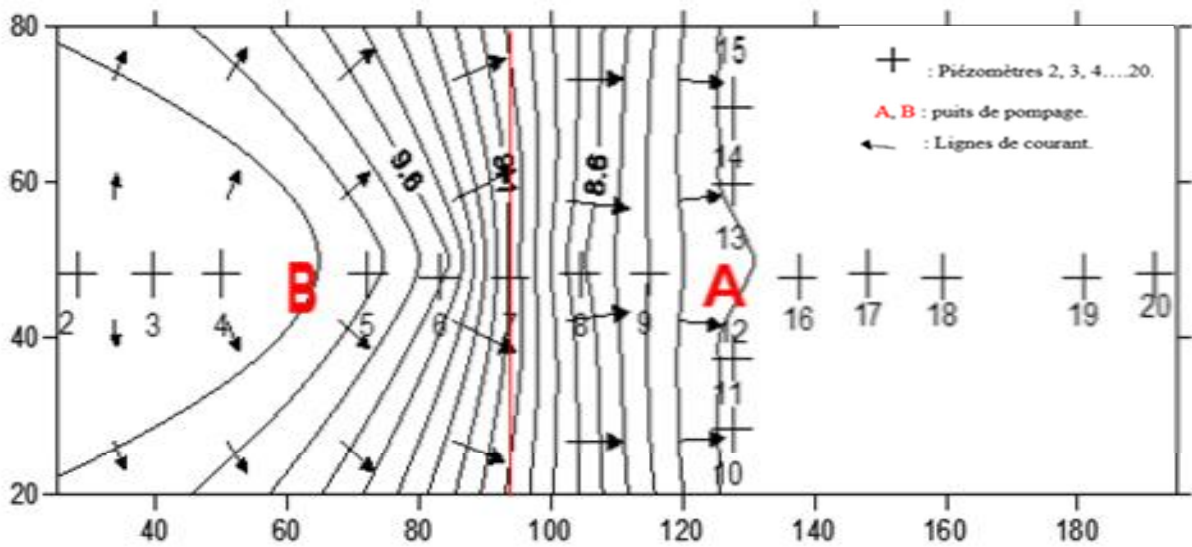
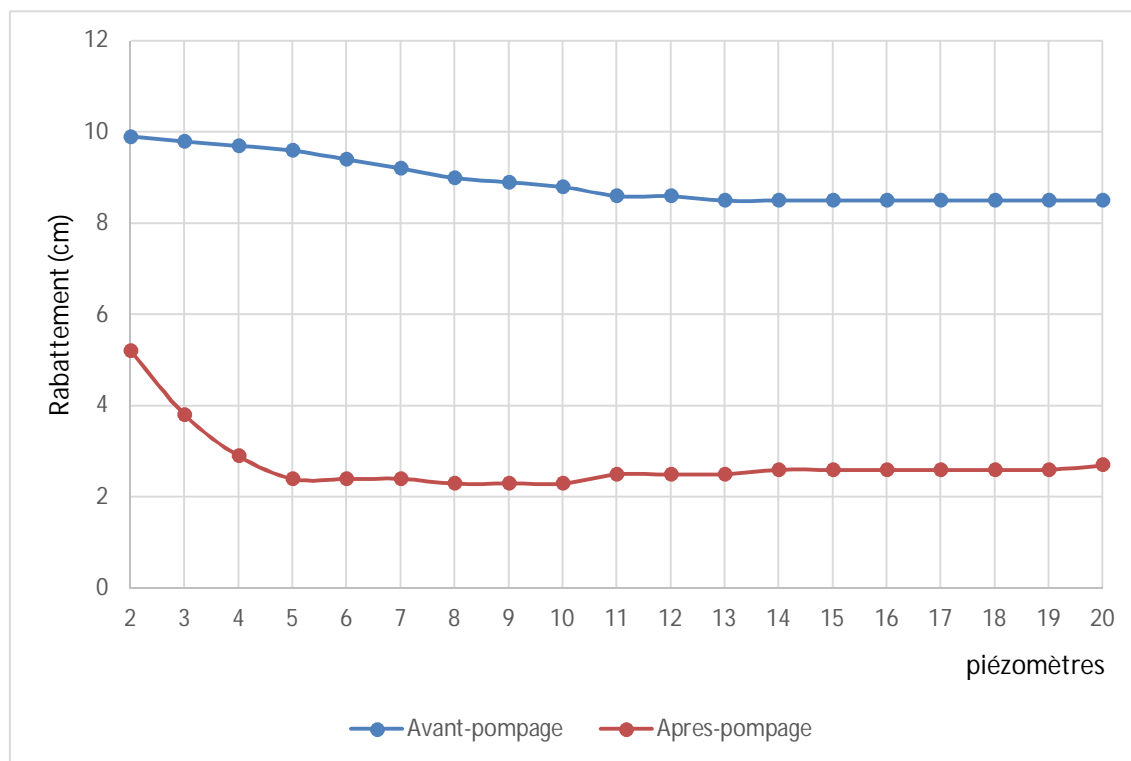


Fig.IV.19: Carte piézométrique de l'après pompage au puits B sans décharge.  
(Formation sable – gravier).

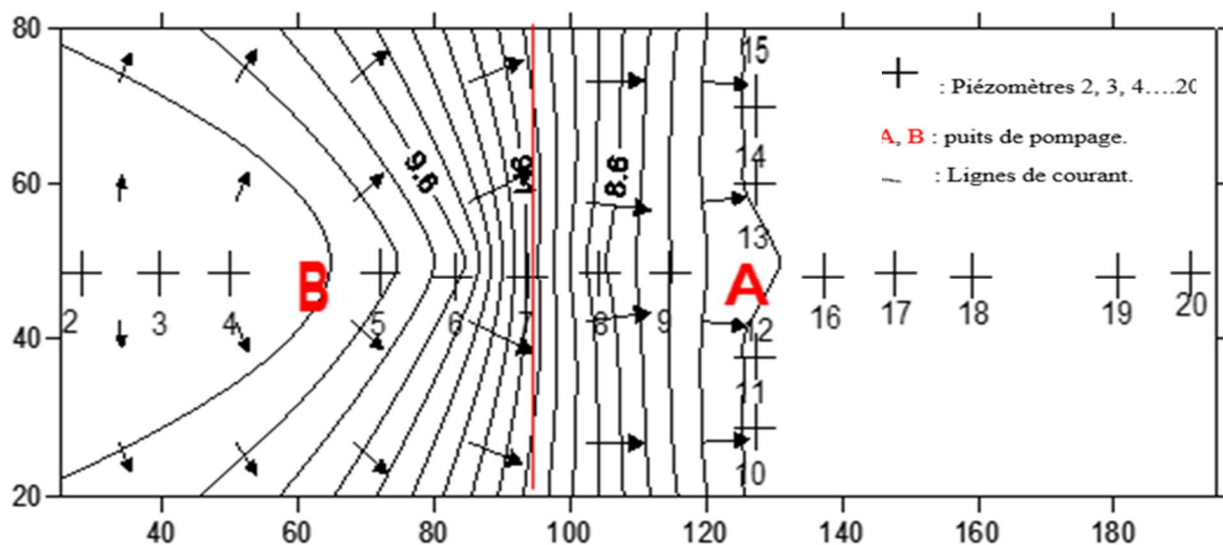
**IV.4.1.7 - Essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge :**

Après le pompage, nous observons une dépression dissymétrique dont le centre se trouve au milieu du banc entre les puits A et B, zone limite du changement de faciès. Un rabattement total de 6 cm est enregistré sur tout le gravier et la moitié du sable, au-delà le gradient hydraulique est d'environ 10% avec un rabattement minimal de 4 cm à la limite aval du banc.

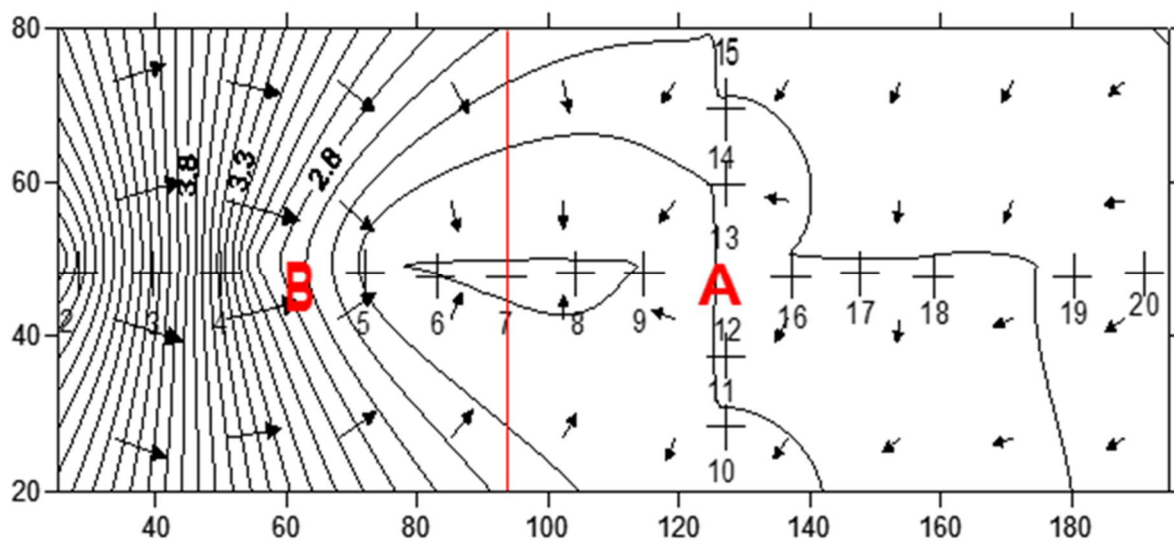


**Fig.IV.20: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B sans décharge. (Formation sable – gravier).**





**Fig.IV.21: Carte piézométrique de l'avant pompage aux puits A et B sans décharge.**  
(Formation sable – gravier).



**Fig.IV.22: Carte piézométrique de l'après pompage aux puits A et B sans décharge.**  
(Formation sable – gravier).

#### IV.4.1.8 – Conclusion

En conclusion, on déduit que dans cette formation le sable alimente le gravier à cause de la différence de la perméabilité entre eux.

Le pompage au niveau de la formation sableuse permet approximativement l'équilibre de la perméabilité dans le banc hydrogéologique.

L'ouverture de la décharge influe sur le sens d'écoulement qui se dirige directement vers l'exutoire (aval).

#### IV.4.2 - GRAVIER-SABLE :

Dans cet essai nous avons inversé le sens des formations c'est à-dire, le gravier a été placé à l'aval du banc tandis que le sable est à l'amont avec une épaisseur de 10 cm pour chaque matériau.

Des pompages à travers les puits (A, B, A et B) sans et avec décharge ont été réalisés.

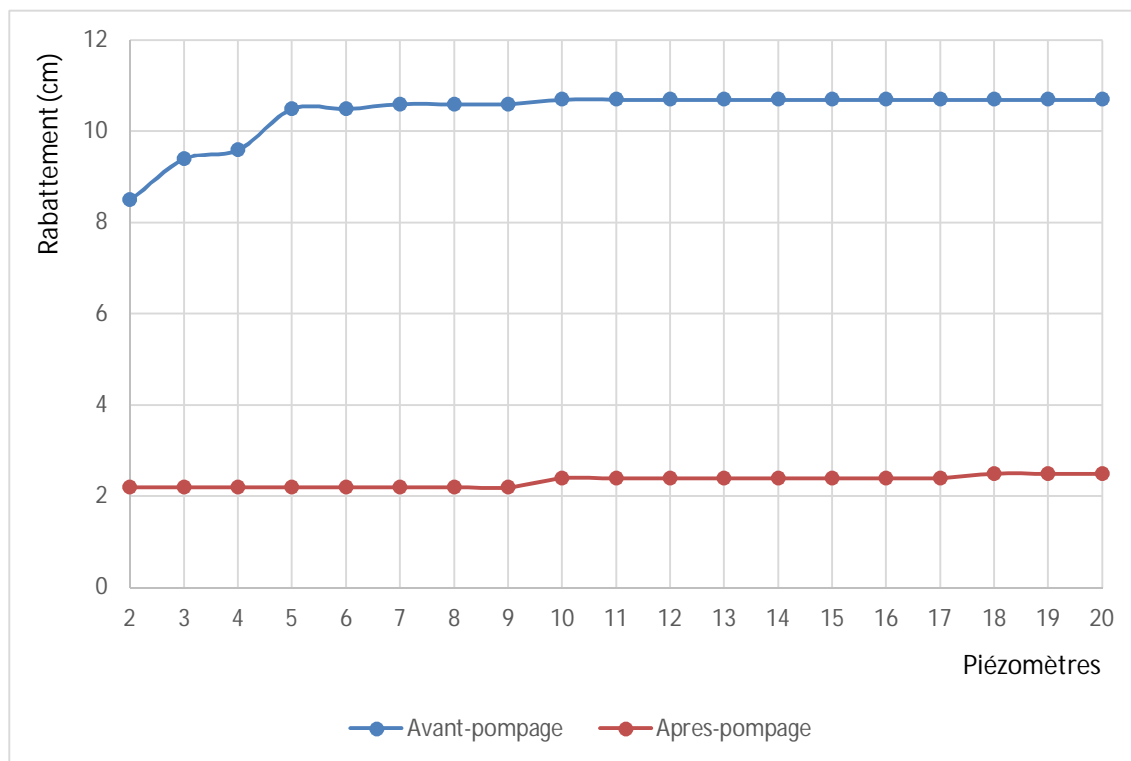
Les résultats obtenus sont mentionnés dans les tableaux 17 - 22 et les cartes ci-dessus.



**Fig.IV.23: Disposition du matériau aquifère dans le banc (Gravier-Sable).**

**IV.4.2.1 - Essai de pompage effectué au puits A sans décharge :**

Presque le même schéma se reproduit que précédemment avec le pompage en B. c-à-dire un rabattement généralisé important sur toute la surface du banc. Toutefois le pompage en A créé une perturbation avec deux dépressions de part et d'autre du puits dans la formation sableuse.



**Fig.IV.24: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge. (Formation gravier – sable).**

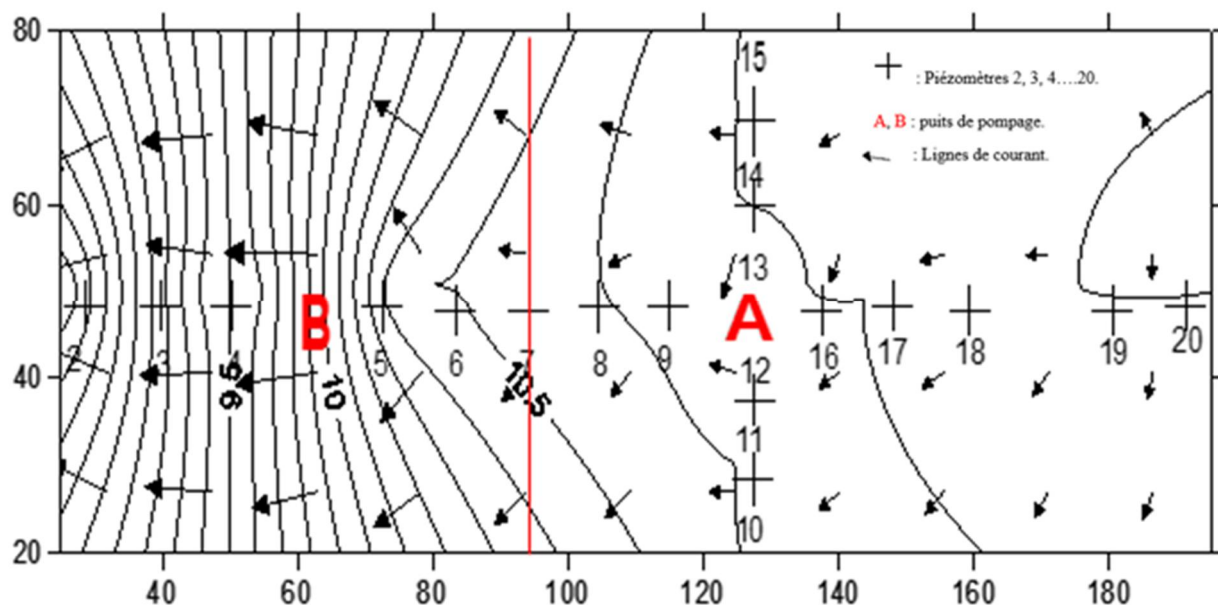


Fig.IV.25: Carte piézométrique avant le pompage au puits A sans décharge.  
(Formation gravier – sable).

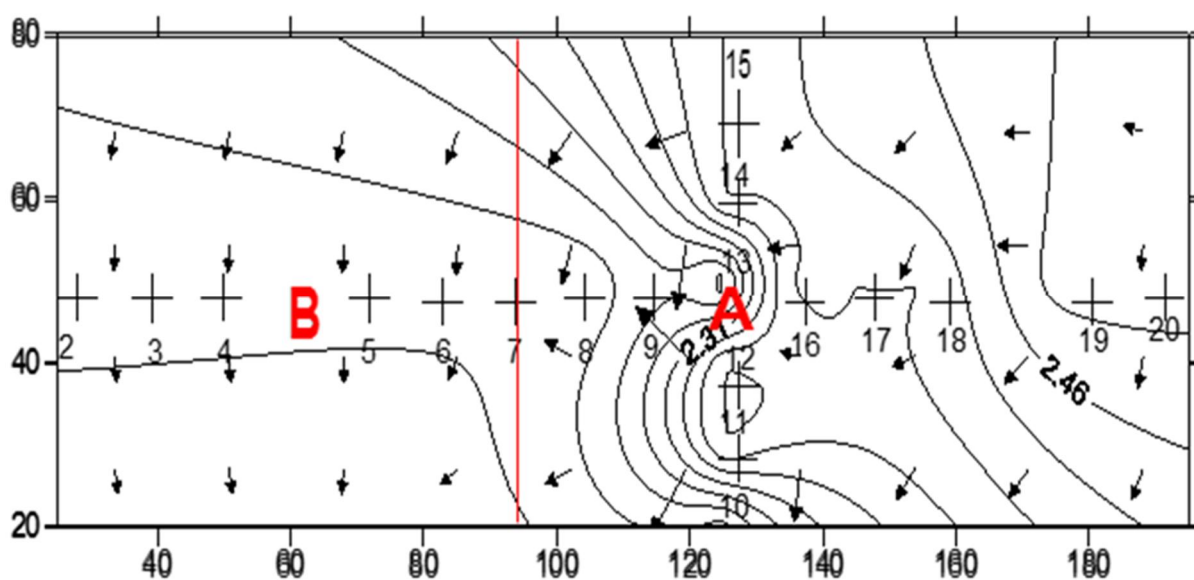
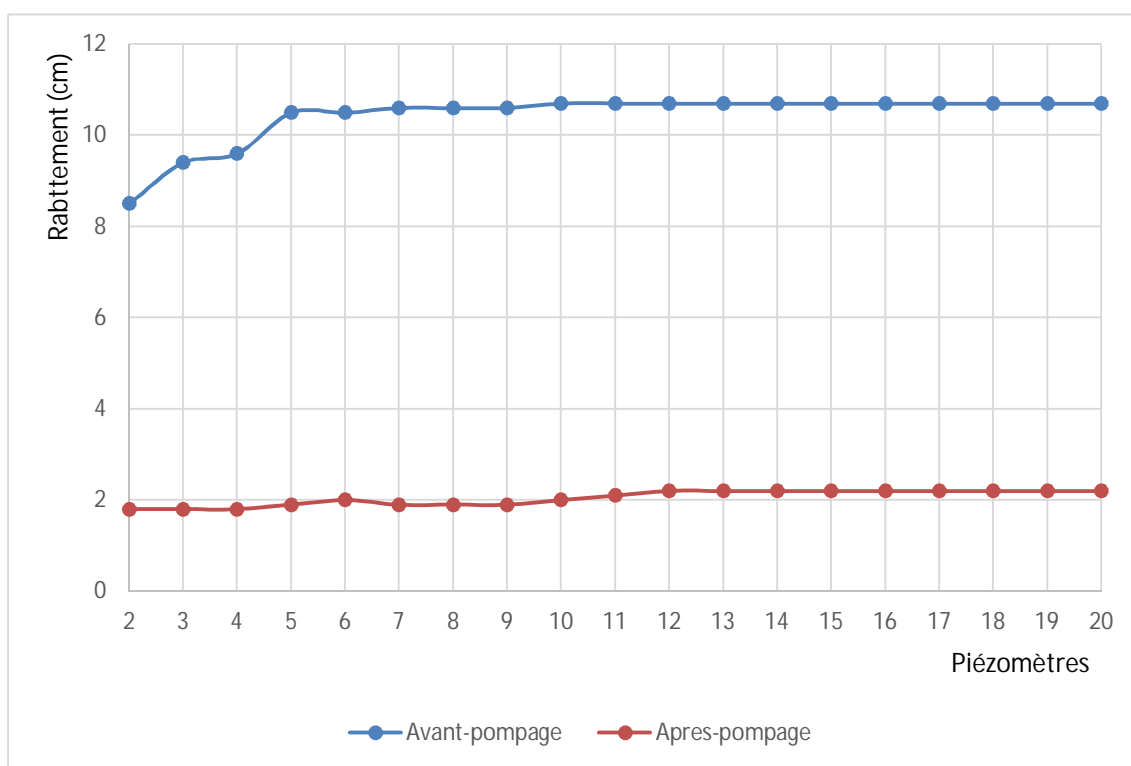


Fig.IV.26: Carte piézométrique après le pompage au puits A sans décharge  
(Formation gravier – sable).

**IV.4.2.2 - Essai de pompage effectué au puits B sans décharge**

Avant le pompage le niveau piézométrique est au maximum du banc à 10,5cm au niveau du sable (sursaturation). A la décharge fermée, le niveau est de 8,5cm (Fig.IV.27. profil piézométrique).

Le pompage dans le puits B provoque un rabattement très important de 8,5cm sur toute la surface du banc avec une petite dépression au puits A (Fig.IV.29 Carte piézométrique). Toute l'eau gravitaire a été drainée par le pompage et il ne reste que l'eau retenue par le matériau.



**Fig.IV.27: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge. (Formation gravier – sable).**

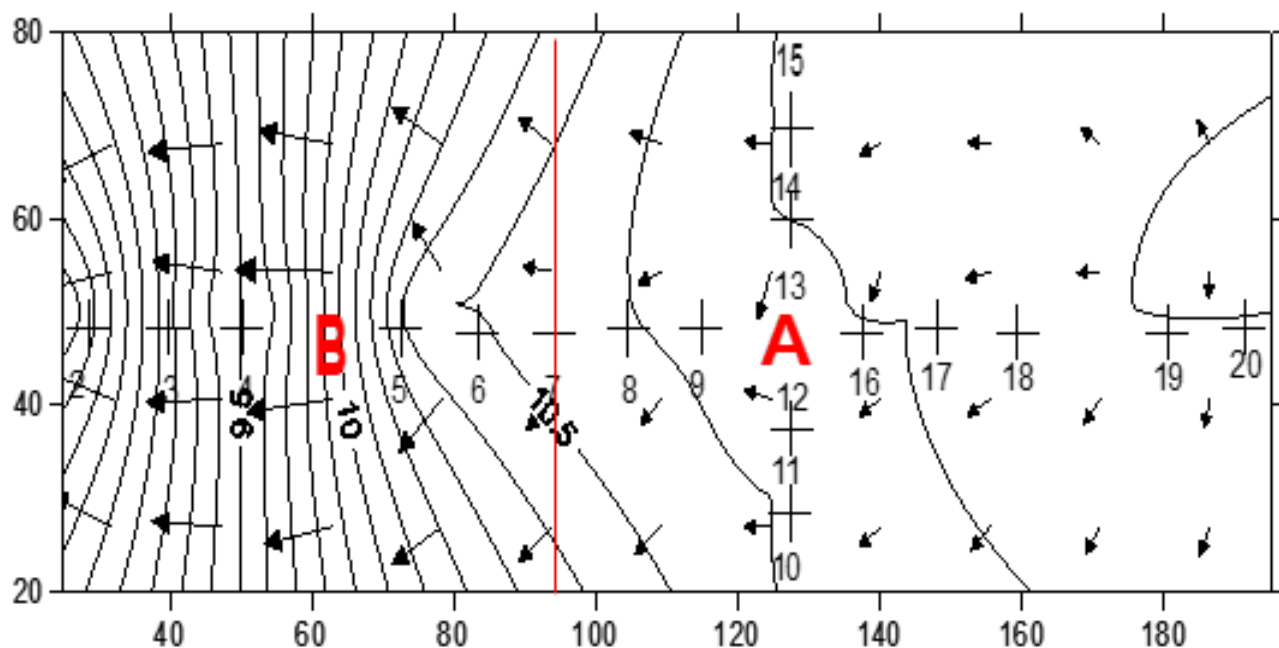


Fig.IV.28: Carte piézométrique avant le pompage au puits B sans décharge.  
(Formation gravier – sable).

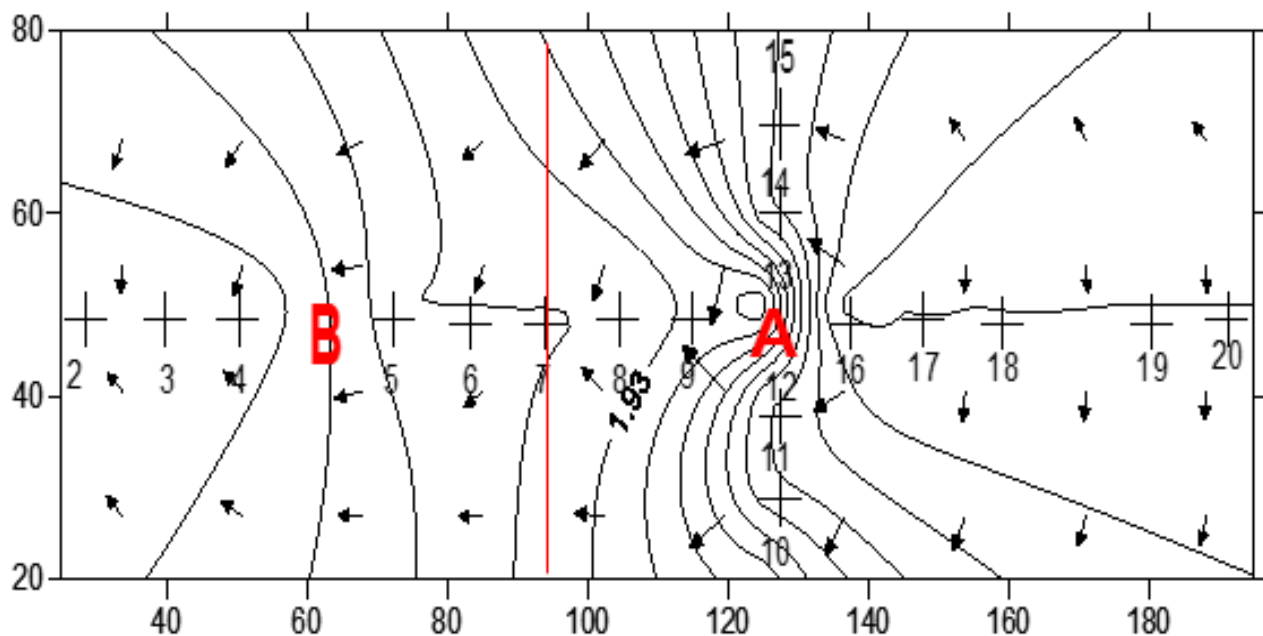


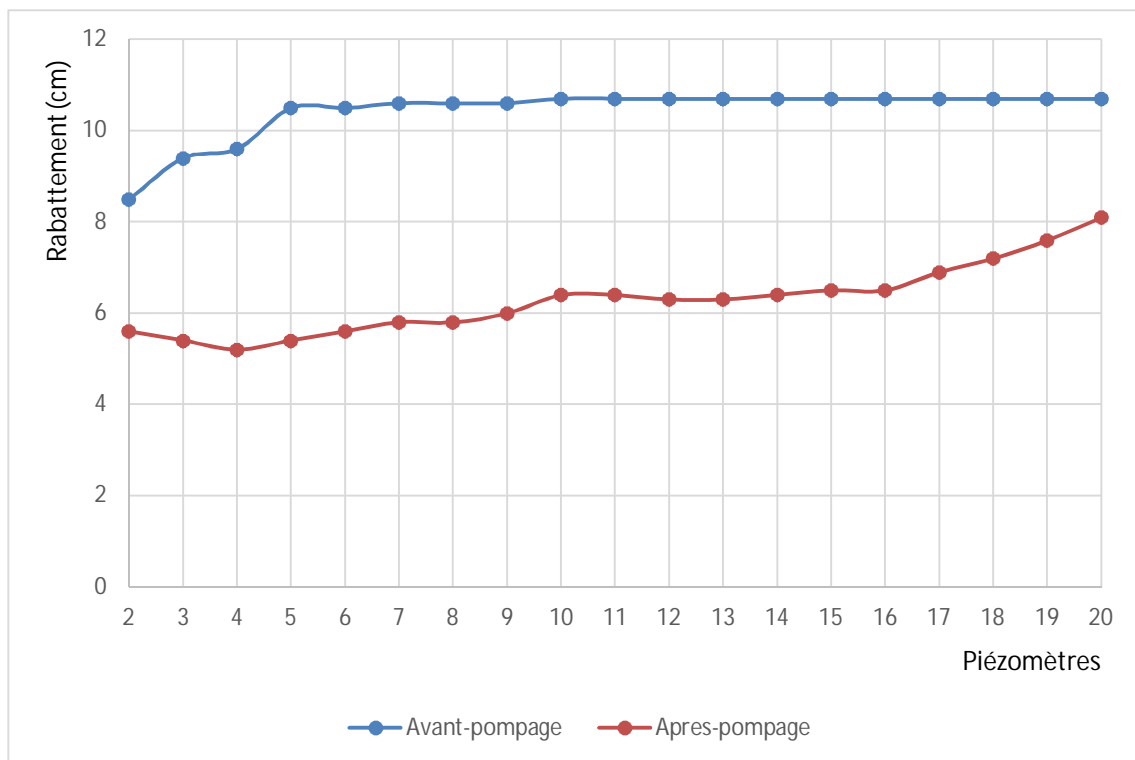
Fig.IV.29: Carte piézométrique après le pompage au puits B sans décharge.  
(Formation gravier – sable).

#### IV.4.2.3 - Essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge :

Avant le pompage le même cas se répète, déversement d'eau du sable vers le gravier, pour avoir à la fin une stabilité du niveau piézométrique.

Après le pompage nous remarquons :

- une dépression au niveau du puits B,
- un resserrement des équipotentielles à l'approche du puits A avec un gradient de 5%,
- le débit en B étant supérieur de plus de 3.5 fois celui de A, les écoulements se dirigent principalement vers B. la surface piézométrique présente un gradient moyen de 2%.
- Malgré le pompage sur les deux puits, le rabattement obtenu de 4cm après 20mn reste relativement faible. La vidange de la nappe n'est pas maximale. Il faut voir là une diminution des débits au niveau des deux puits qui font retarder l'écoulement gravitaire et le déchargement total.



**Fig.IV.30: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B sans décharge. (Formation gravier – sable).**

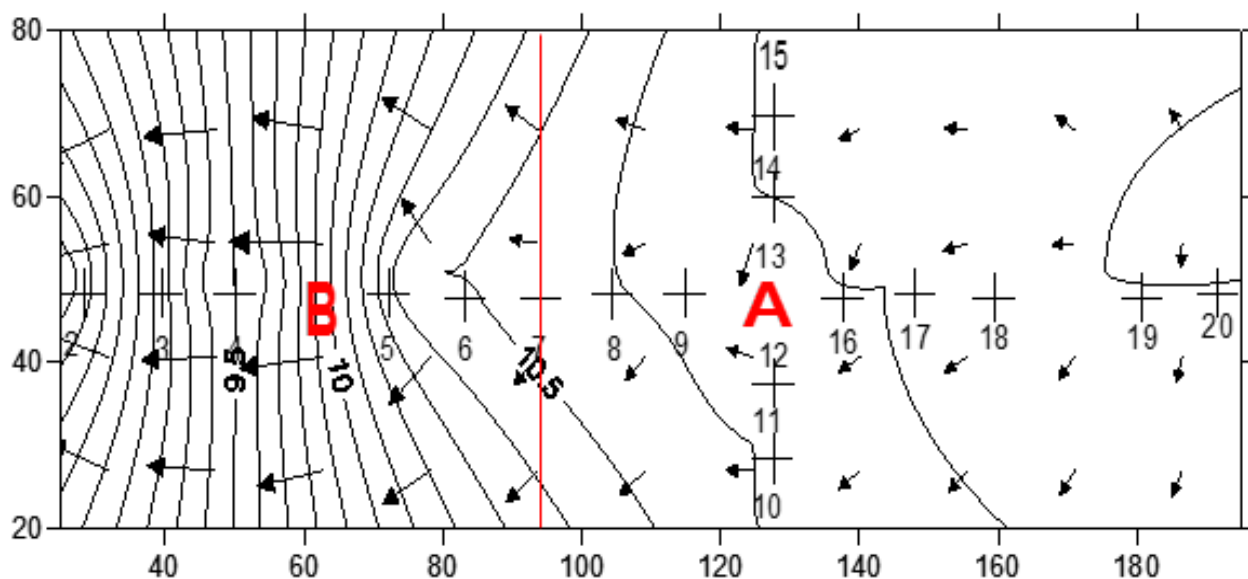


Fig.IV.31: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B sans décharge  
(Formation gravier – sable).

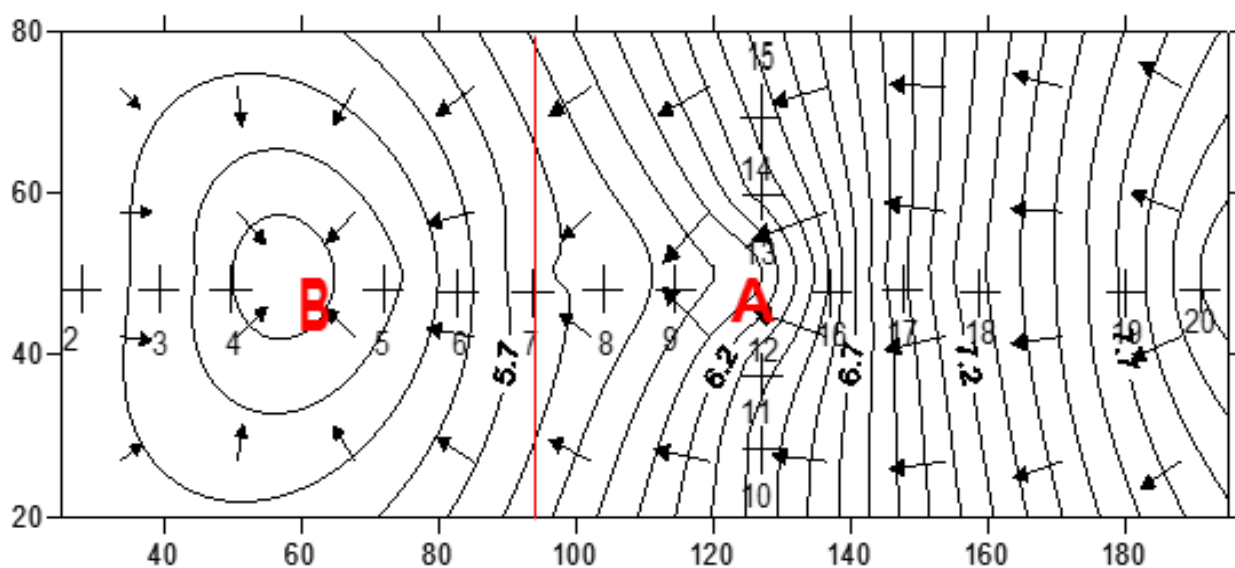


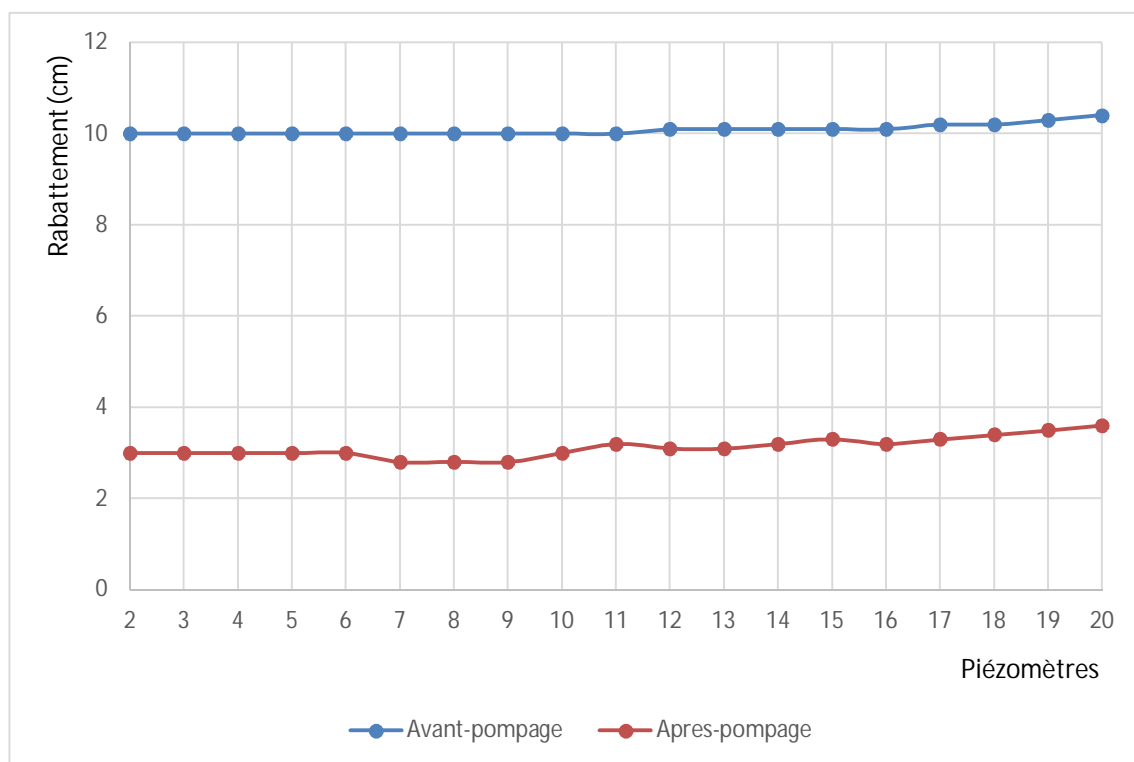
Fig.IV.32: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B sans décharge.  
(Formation gravier – sable).



**IV.4.2.4 - Essai de pompage effectué au puits A avec décharge :**

Le pompage provoque deux dépressions, dont l’une est située directement au niveau du puits A, l’autre à 20cm vers l’aval (dans le gravier) de plus grand rayon d’influence mais d’un gradient hydraulique plus faible. Cette perturbation relève de la présence de la limite entre le sable et le gravier de perméabilités différentes.

Après 20 mn de pompage, la vidange gravitaire est presque totale.



**Fig.IV.33: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A avec décharge (Formation gravier – sable).**

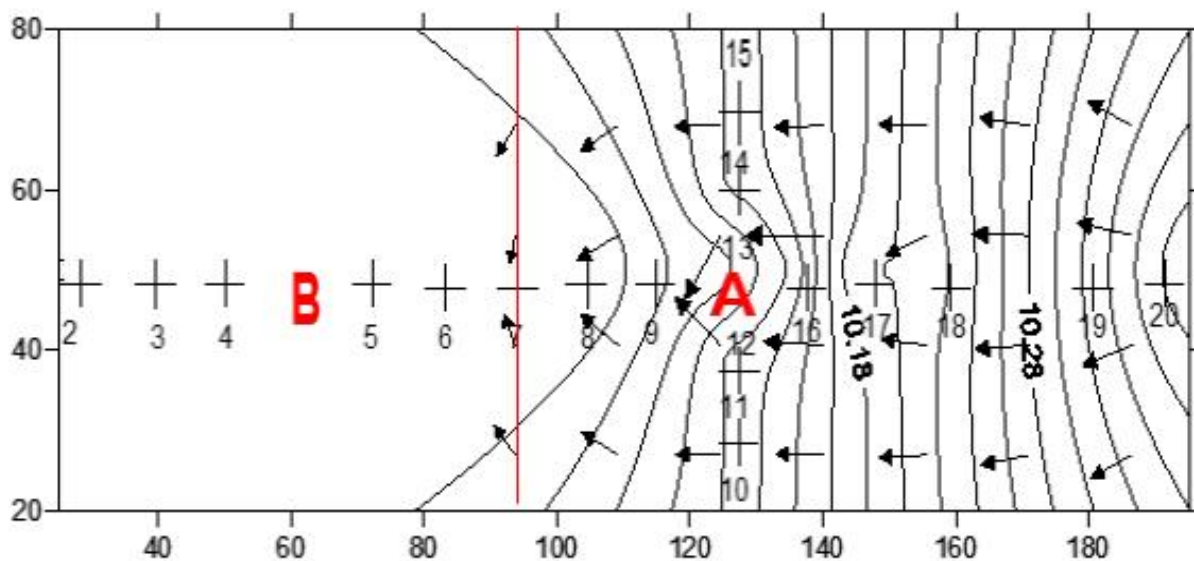


Fig.IV.34: Carte piézométrique avant le pompage au puits A avec décharge.  
(Formation gravier – sable).

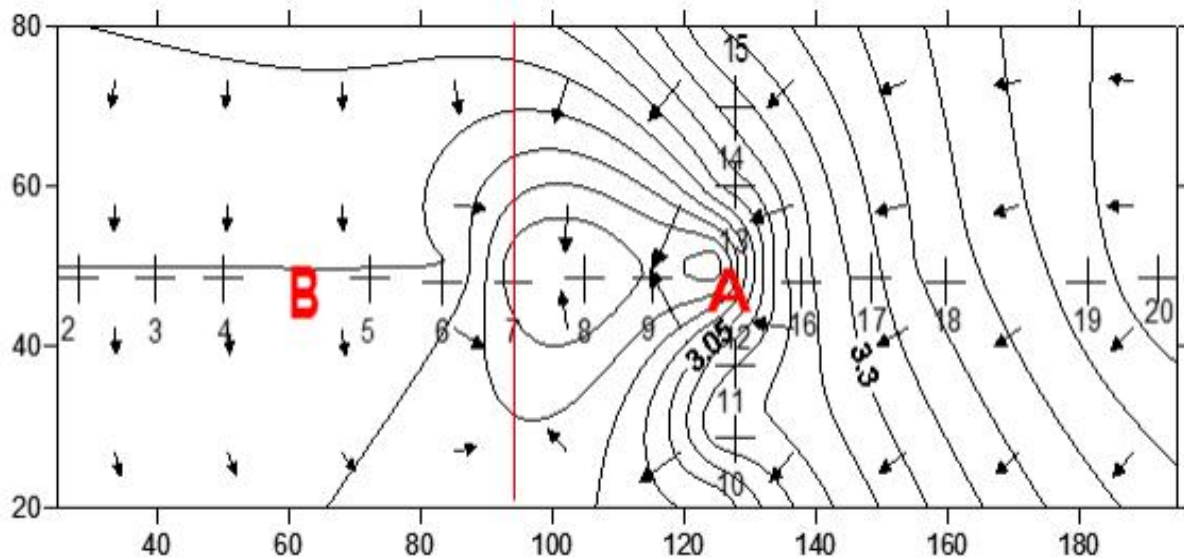
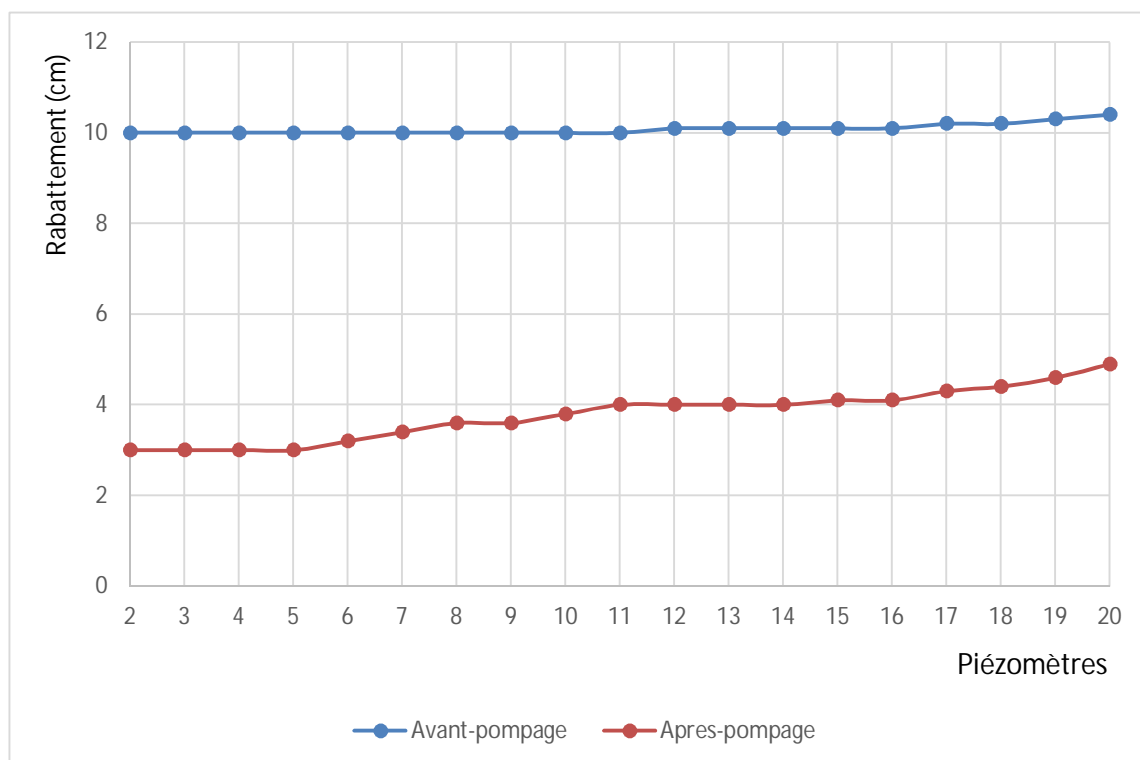


Fig.IV.35: Carte piézométrique après le pompage au puits A avec décharge.  
(Formation gravier – sable).

**IV.4.2.5 - Essai de pompage effectué au puits B avec décharge :**

Le même scénario se répète. Après le pompage, nous distinguons une apparition d'un étranglement au puits A avec léger resserrement des isopièzes. Ceci est dû au changement de faciès, il y a un ralentissement de l'écoulement au niveau du passage sable - gravier. Le rabattement est plus accentué dans le gravier proche de la décharge 0.025L/s et dans le puits B.



**Fig.IV.36: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B avec décharge (Formation gravier – sable).**

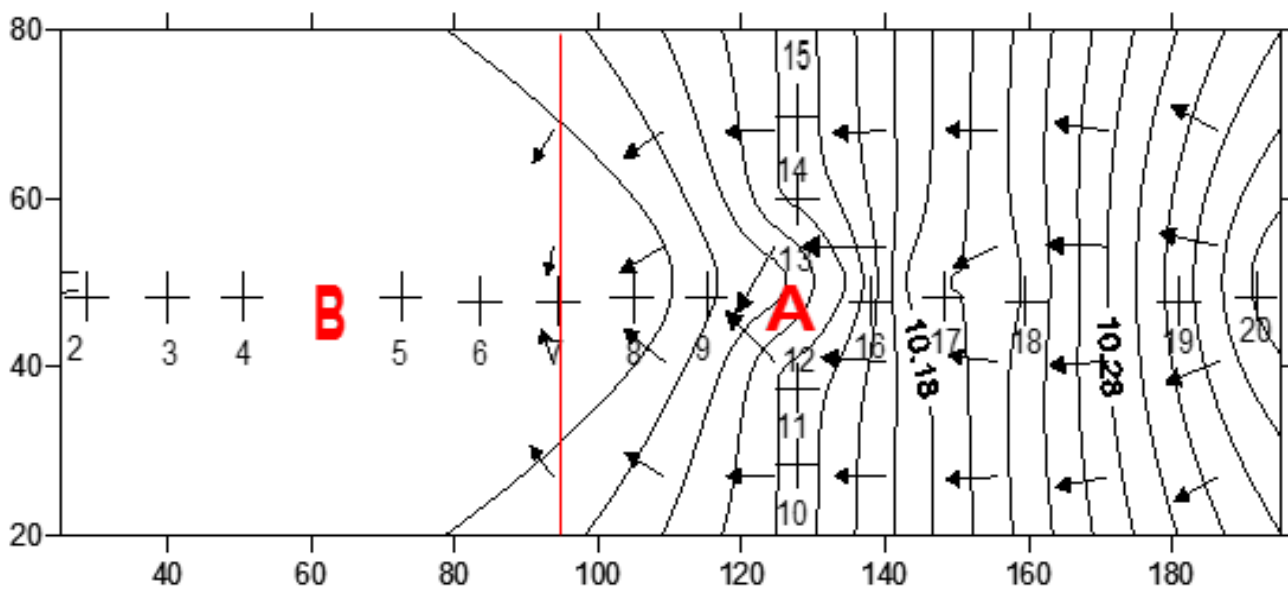


Fig.IV.37: Carte piézométrique avant le pompage au puits B avec décharge.  
(Formation gravier – sable).

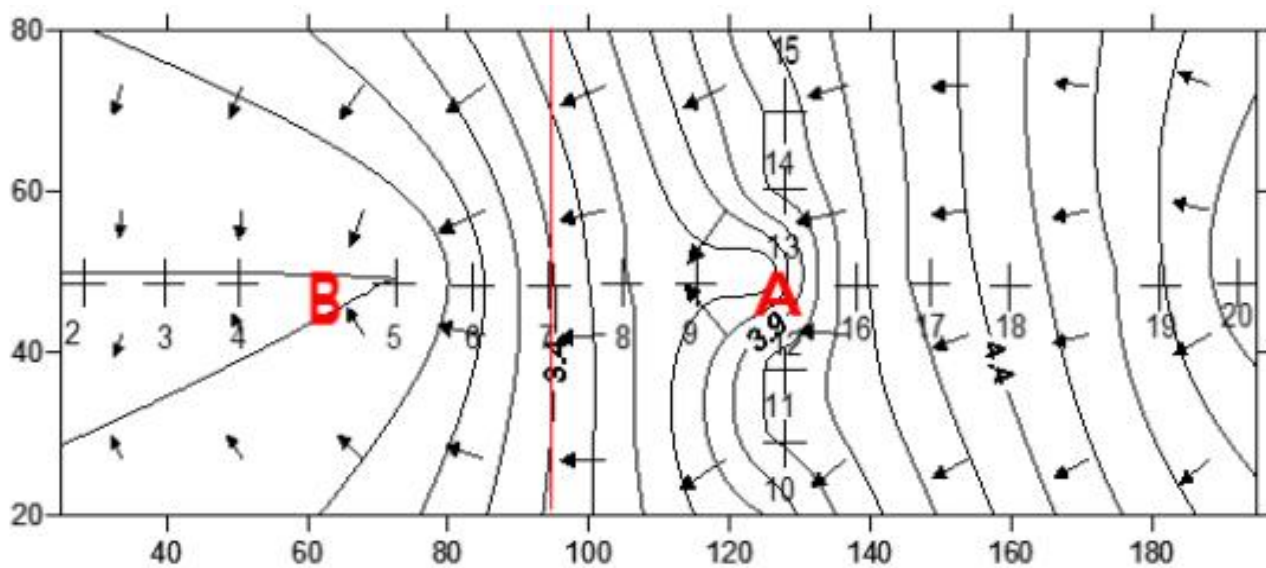
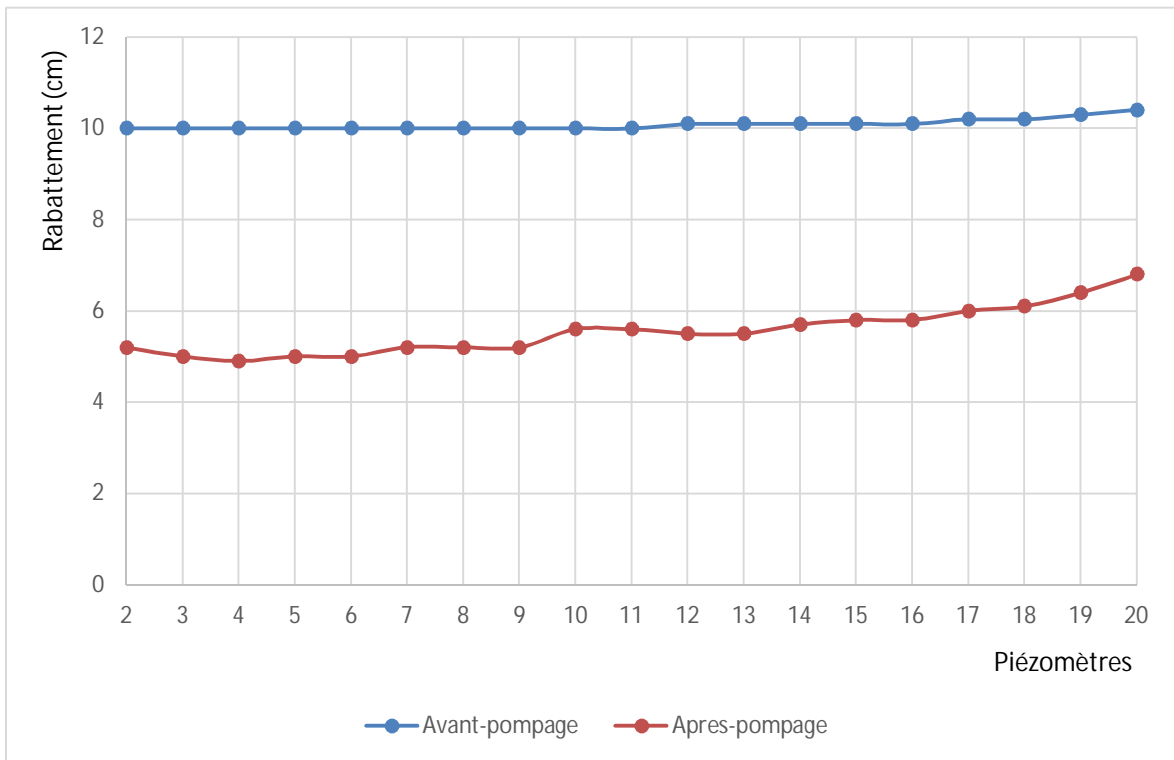


Fig.IV.38: Carte piézométrique après le pompage au puits B avec décharge.  
(Formation gravier – sable).

**IV.4.2.6 - Essai de pompage effectué au puits A et B avec décharge :**

Le même comportement est enregistré que le cas sans décharge  
 Après le pompage nous observons :

- une dépression au niveau du puits B,
- un resserrement des équipotentielles à l’approche du puits A avec un gradient de 5%.
- le débit en B étant supérieur de plus de 3.5 fois celui de A, les écoulements se dirigent principalement vers B, la surface piézométrique présente un gradient moyen de 2%.
- Malgré la présence du pompage sur les deux puits, le rabattement obtenu de 4cm après 20mn reste relativement faible. La vidange de la nappe n’est pas maximale. Il faut voir là une diminution des débits au niveau des deux puits qui font retarder l’écoulement gravitaire et le déchargement total.



**Fig.IV.39: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B avec décharge. (Formation gravier – sable).**

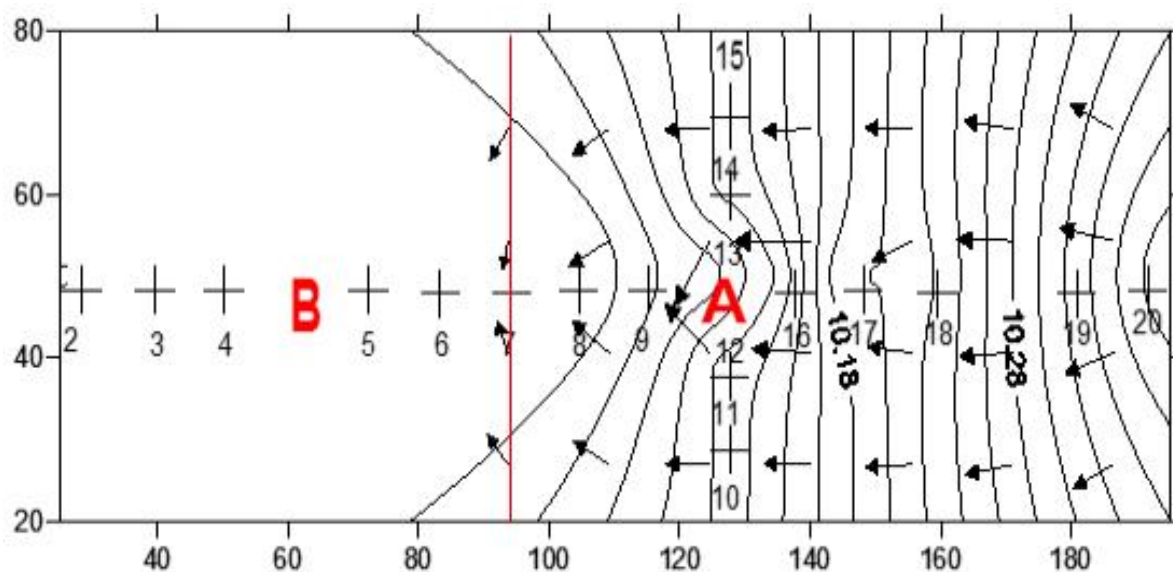


Fig.IV.40: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B avec décharge.  
(Formation gravier – sable).

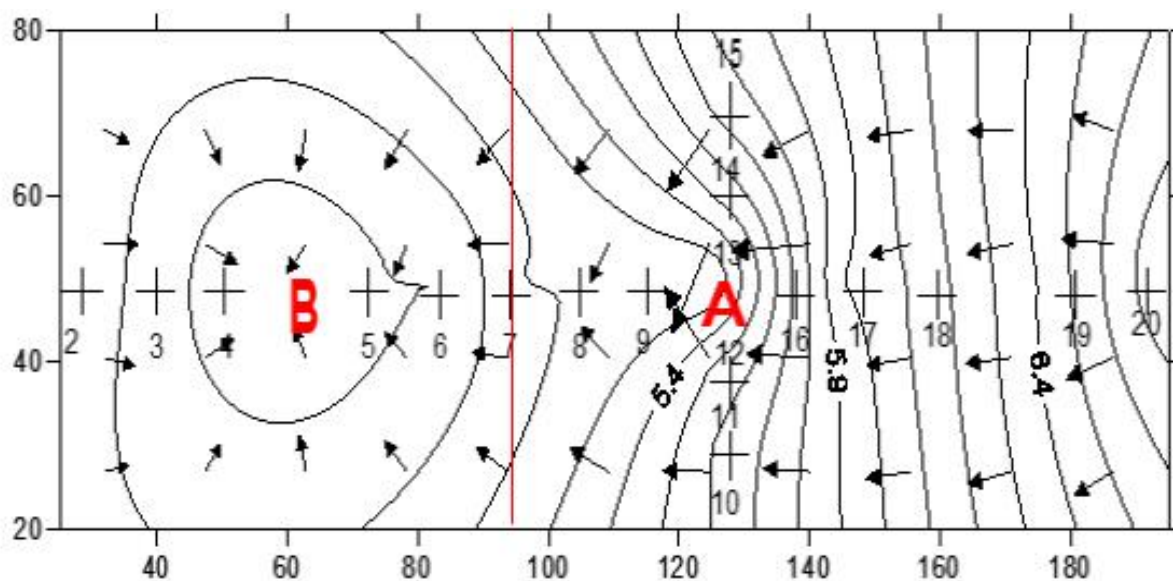


Fig.IV.41: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B avec décharge.  
(Formation gravier – sable).

#### IV.4.2.7 – Conclusion

Pour cette formation, l'écoulement est dirigé vers l'aval (exutoire), la différence de la perméabilité est la principale cause qui influe sur ce dernier, ce qui explique le déversement du surplus d'eau du sable vers le gravier. Toutefois, nous distinguons l'existence d'un ralentissement des écoulements et des perturbations au niveau de la limite entre le sable et le gravier. En plus de la perméabilité, l'influence du débit d'un puits par rapport à l'autre se fait sentir.

Les cartes tracées nous ont permis de déduire que les pompages au niveau du gravier créent des dépressions visibles avec un rabattement important, tandis que dans le sable elles sont moins visibles.

#### IV.4.3.1 - FORMATION MULTICOUCHE :

Dans ce cas du multicouche, nous avons essayé de simuler le comportement d'un aquifère tri-couche constitué par du gravier, de l'argile-gréseuse et du sable de Targa-plage (Wilaya d'Aïn Temouchent) avec des épaisseurs respectives de (5 cm, 2 cm, 5 cm).

Au niveau de chaque puits (A, B) on a créé un espace de la forme d'un cercle au niveau de la formation argileuse pour permettre le passage de l'eau dans les puits à partir de la formation basale.

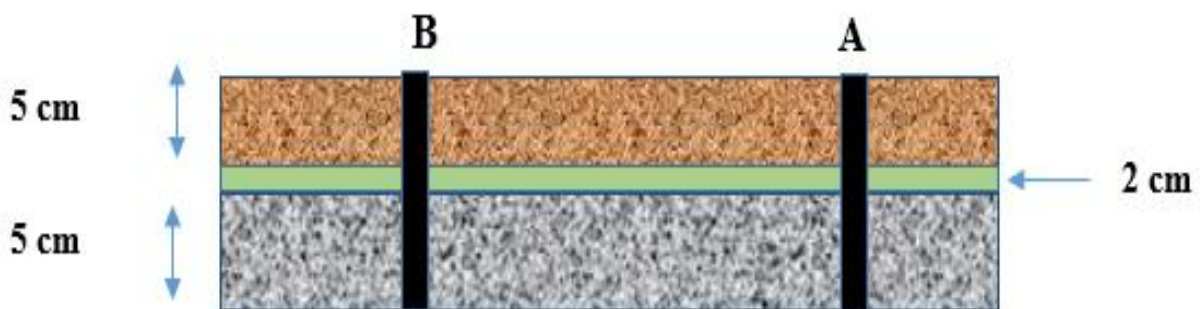


Fig.IV.42: Disposition du matériau aquifère dans le banc (multicouche).

IV.4.3.1 - Essai de pompage au puits A sans décharge :

L'allure des courbes est assez logique dans l'avant pompage et suivent la pente (vers l'aval).Après le pompage, nous remarquons une dépression au niveau du puits A suite au pompage avec un rabattement d'environ 6 cm.

Après 20mn de pompage la vidange est presque totale, il ne reste que les eaux retenues par le matériau. C'est pratiquement le même comportement que pour les monocouches sable - gravier et gravier - sable.

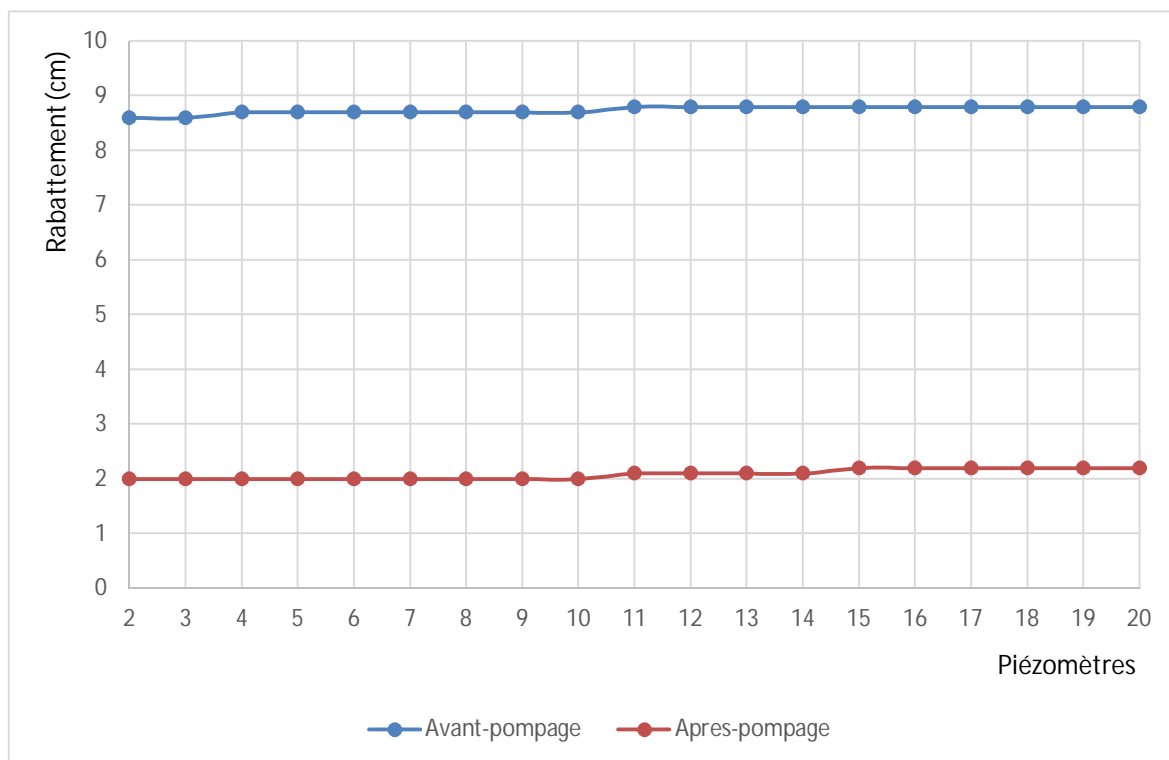


Fig.IV.43: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge (Formation multicouche).



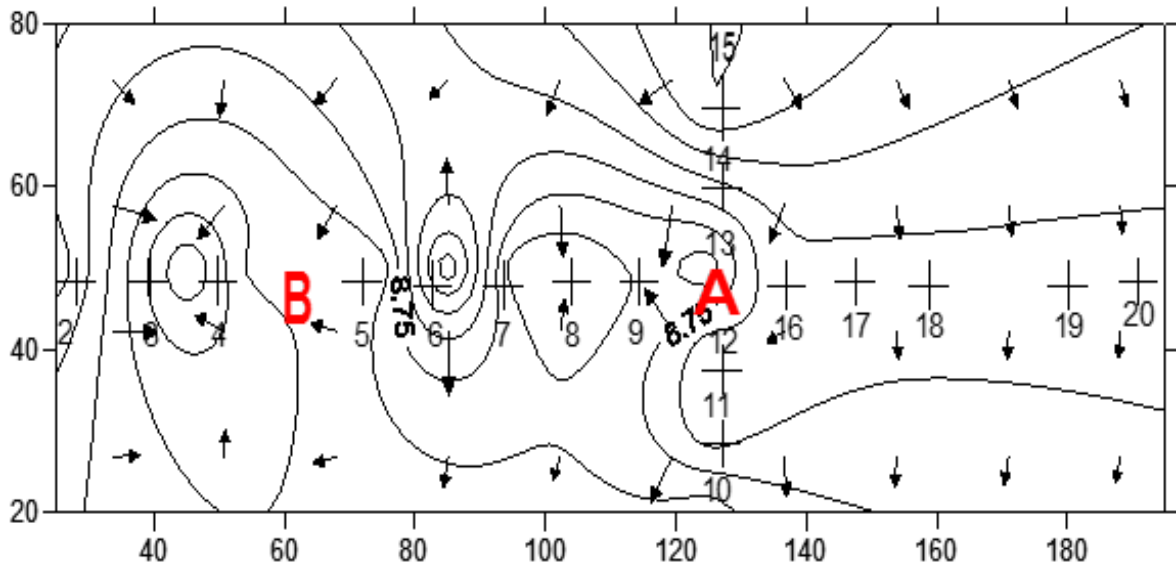


Fig.IV.44: Carte piézométrique avant le pompage au puits A sans décharge.  
(Formation multicouche).

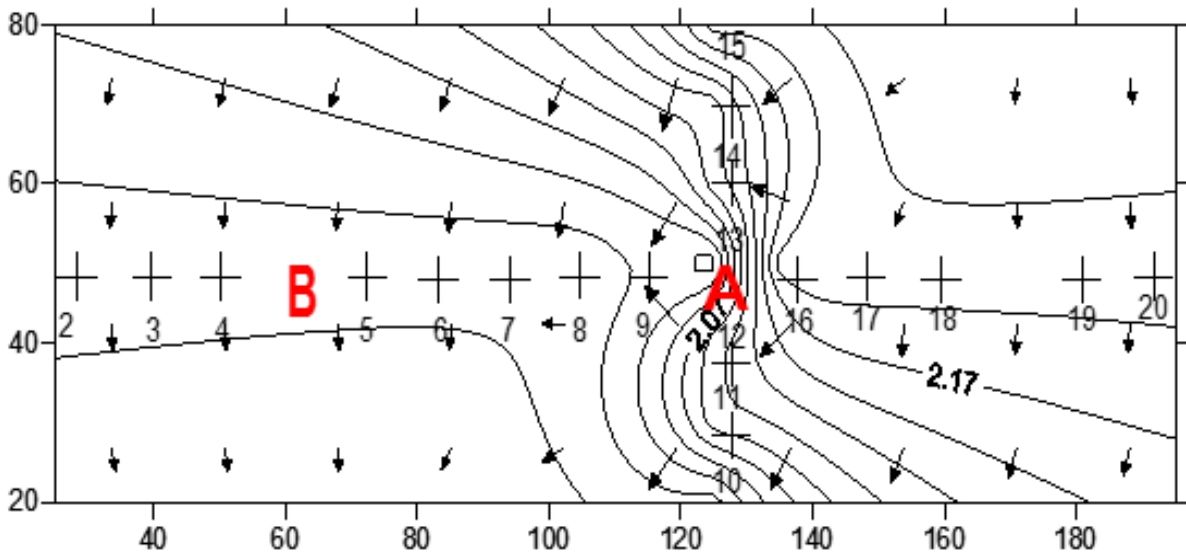


Fig.IV.45: Carte piézométrique après le pompage au puits A sans décharge.  
(Formation multicouche).

IV.4.3.2 - Essai de pompage au puits B sans décharge

Le pompage attire l'écoulement vers le puits B, où la vidange gravitaire s'effectue rapidement accompagnée d'un rabattement de 7 cm. Toutefois, une perturbation piézométrique se crée autour du puits A.

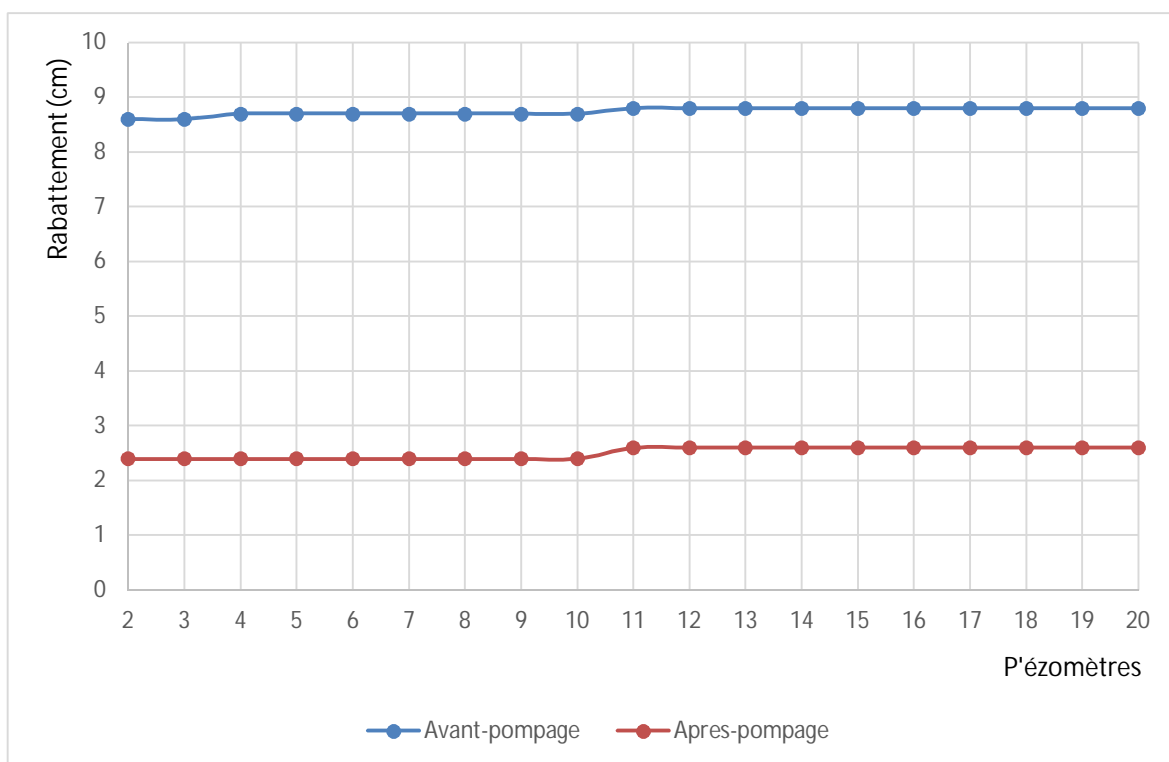
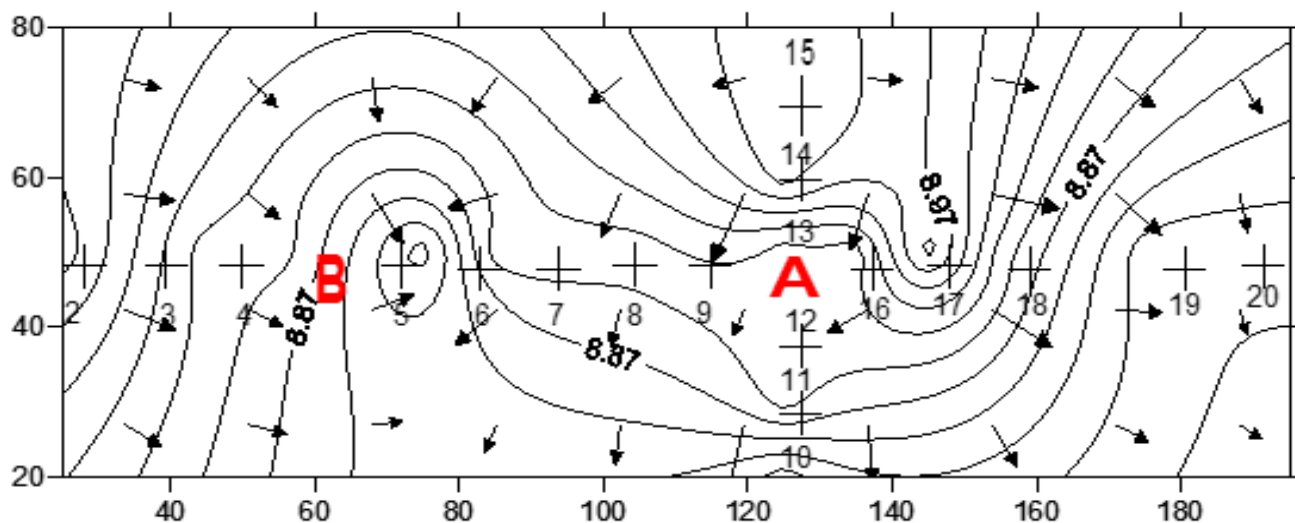
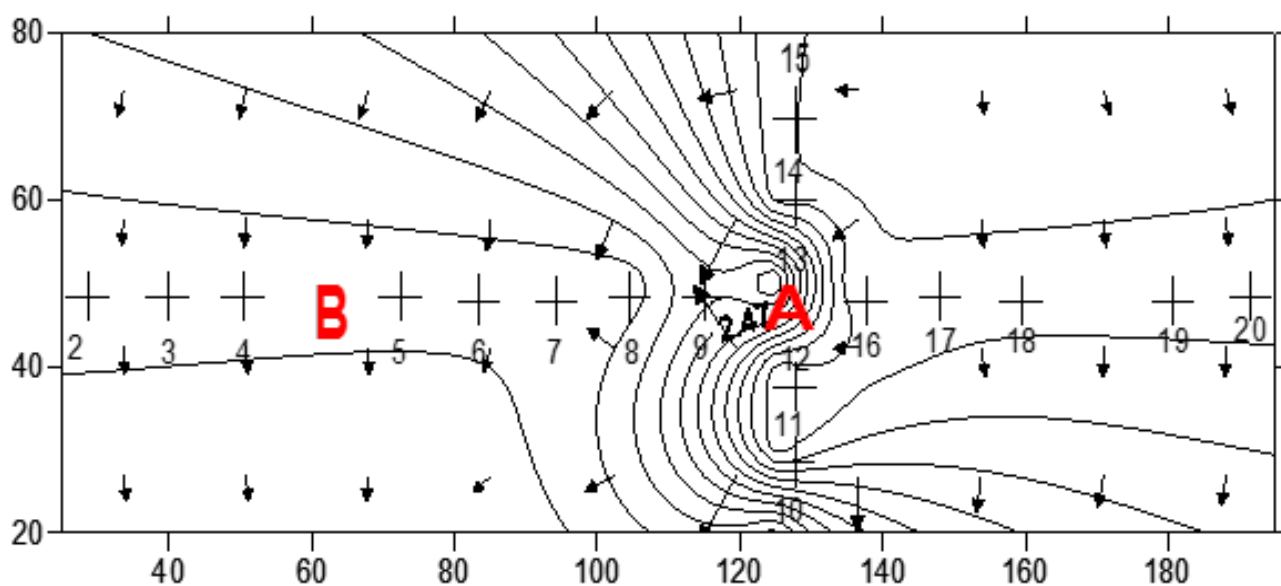


Fig.IV.46: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge. (Formation multicouche).



**Fig.IV.47: Carte piézométrique avant le pompage au puits B sans décharge (La formation multicouche).**



**Fig.IV.48: Carte piézométrique après le pompage au puits B sans décharge. (Formation multicouche).**

IV.4.3.3 - Essai de pompage aux puits A et B sans décharge :

Le même comportement est enregistré avant et après pompage que précédemment. Les légères perturbations des isopièzes observées dans pratiquement la plupart des essais au niveau du puits A sont dues surtout à la présence de piézomètres dans cette axe tout le large du banc et qui indiquent avec une certaine précision le niveau d'eau.

Nous pouvons aussi remarquer durant le pompage que les axes d'écoulement essayent tant bien que mal de se diriger vers les zones de pompage.

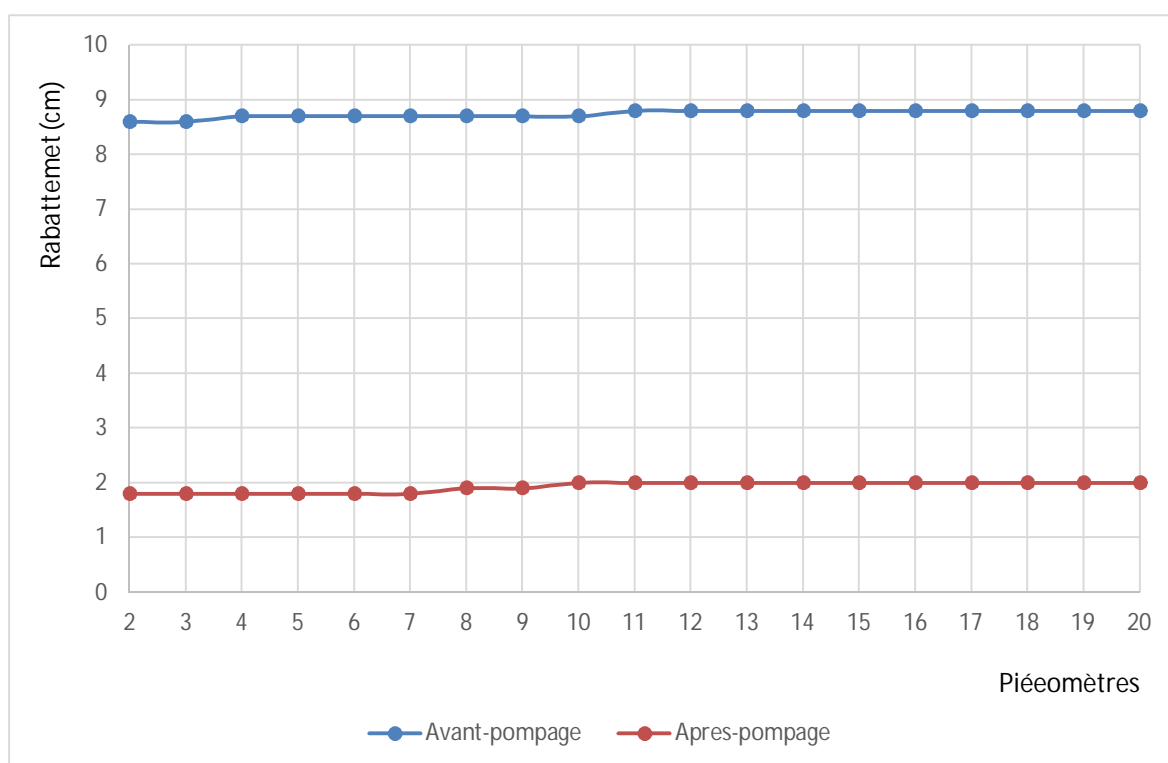
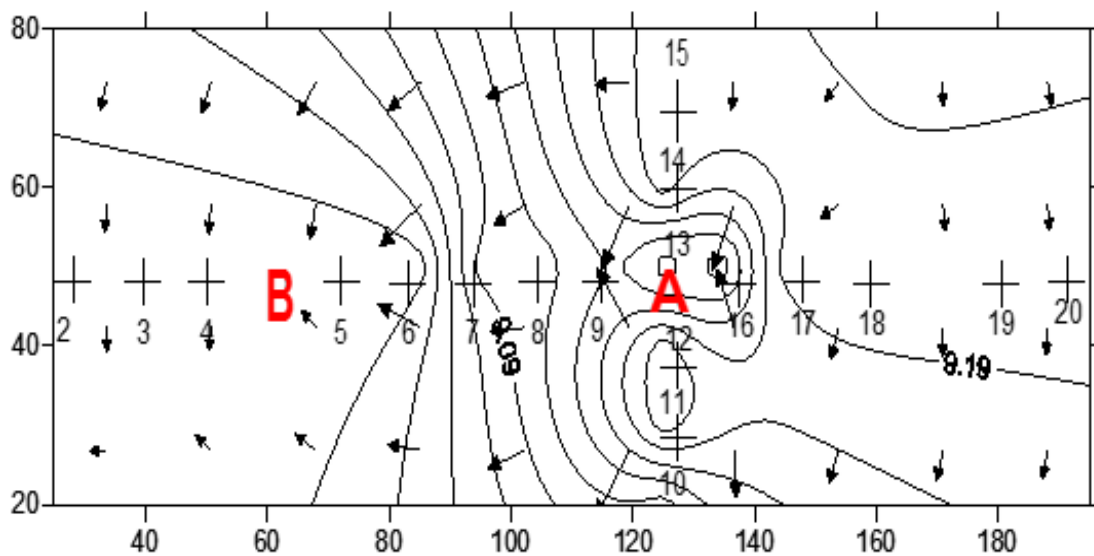
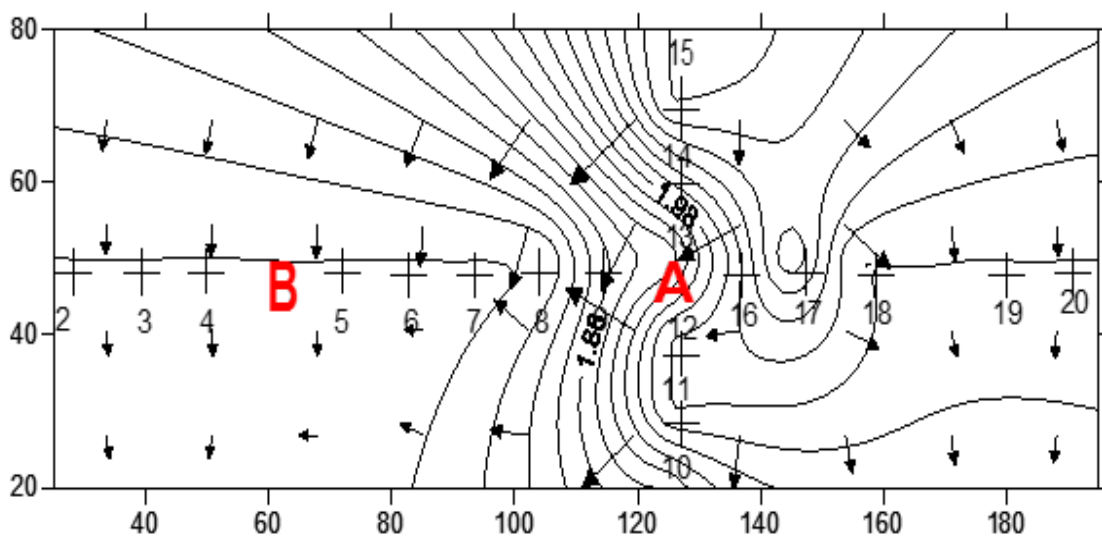


Fig.IV.49: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B sans décharge. (Formation multicouche).



**Fig.IV.50: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B sans décharge. (Formation multicouche).**

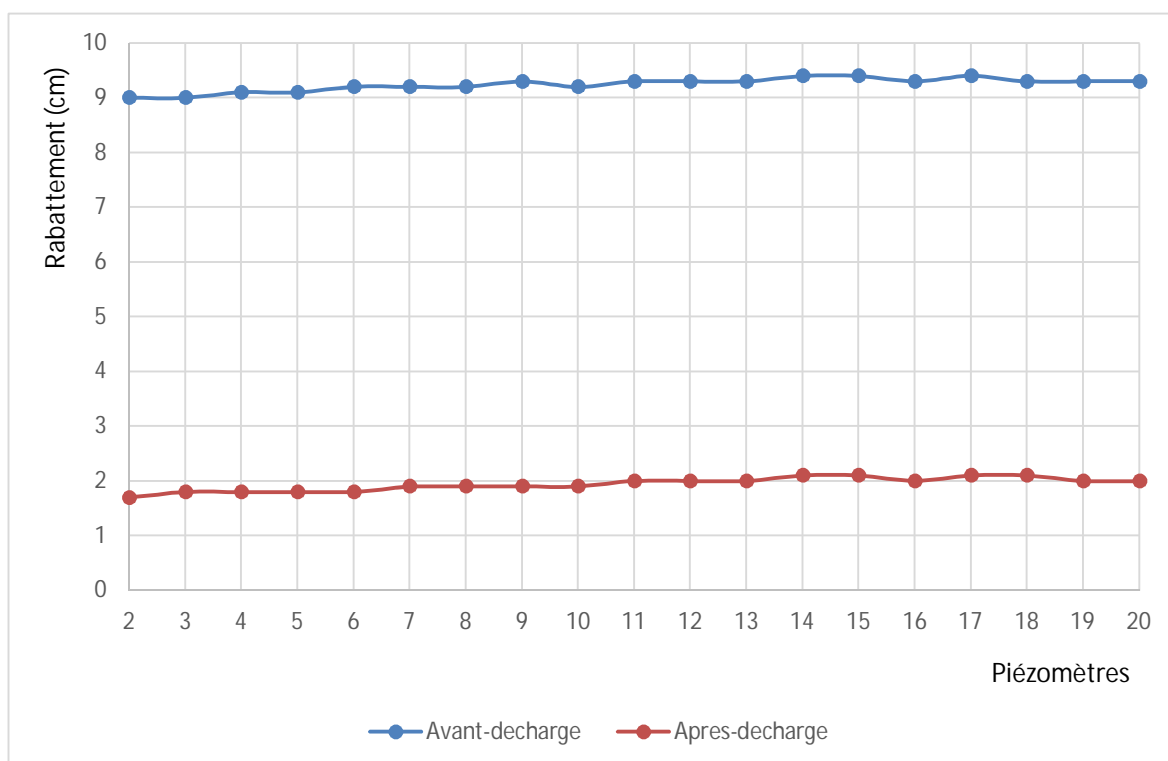


**Fig.IV.51: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B sans décharge. (Formation multicouche).**

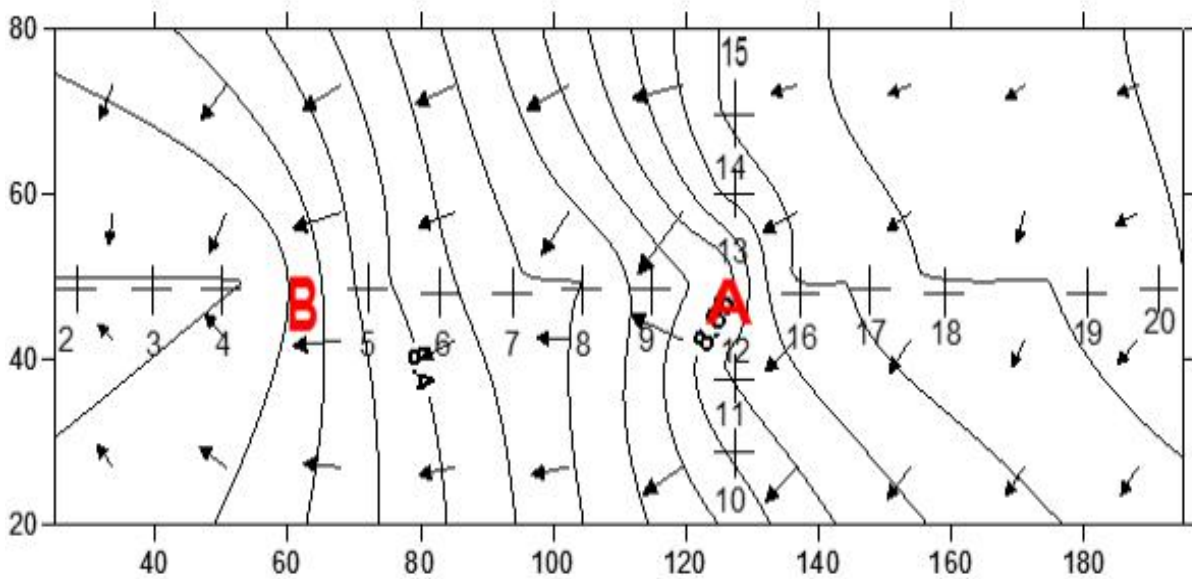
IV.4.3.4 - Essai de la décharge :

Avant l'ouverture de la décharge l'écoulement est vers l'aval car l'inclinaison du banc influe sur ce dernier. Après l'ouverture de la décharge, l'écoulement se dirige vers la décharge avec la formation de quelques anomalies piézométriques de faible envergure dans la zone du puits A ainsi qu'à l'amont au niveau du piézomètre 17, dues vraisemblablement à l'hétérogénéité de la formation aquifère.

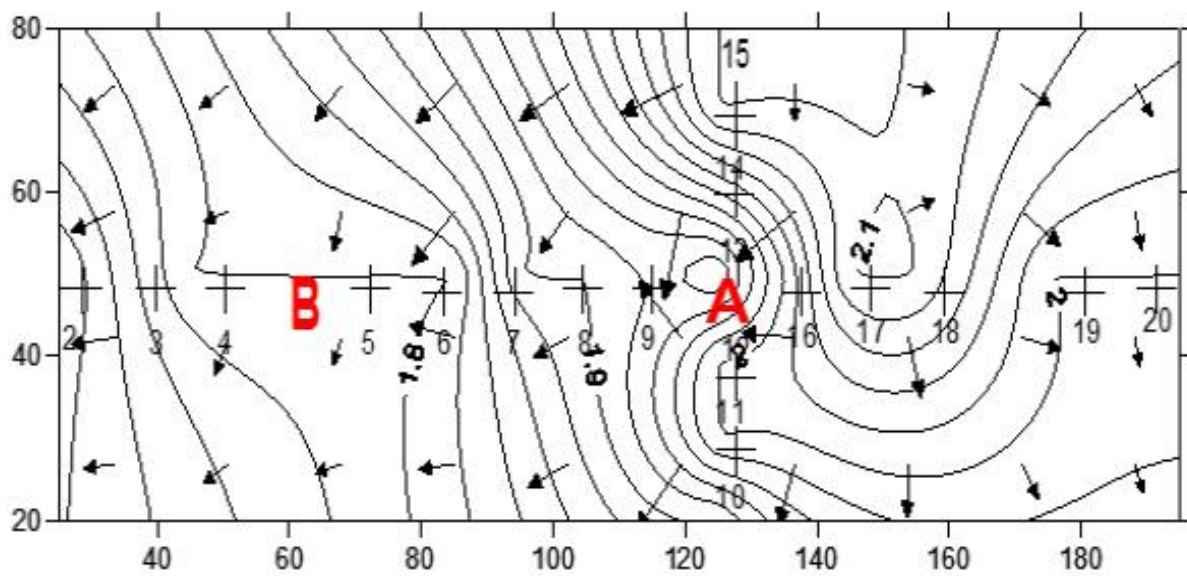
La baisse du niveau piézométrique de la nappe se fait graduellement et de la même façon sur toute la superficie du banc.



**Fig.IV.52: Profil piézométrique avant et après l'ouverture de la décharge. (Formation multicouche).**



**Fig.IV.53: Carte piézométrique avant l'ouverture de la décharge.  
(Formation multicouche).**



**Fig.IV.54: Carte piézométrique après l'ouverture de la décharge.  
(Formation multicouche).**

IV.4.3.5 - Essai avec pompage aux puits A et B avec décharge :

Dans la formation multicouche le gradient hydraulique est assez régulier est faible, l'écoulement se fait vers la décharge.

Après l'ouverture de la décharge, l'eau tend à s'infiltrer en empruntant multiples points sur le banc, d'où la création de multiples dépressions. Ceci est dû à l'hétérogénéité de la formation car la couche argilo-gréseuse n'est pas assez étanche pour empêcher la propagation et l'infiltration. L'eau se dirige vers le même point (puits), d'où l'apparition de multiples dépressions à travers le banc.

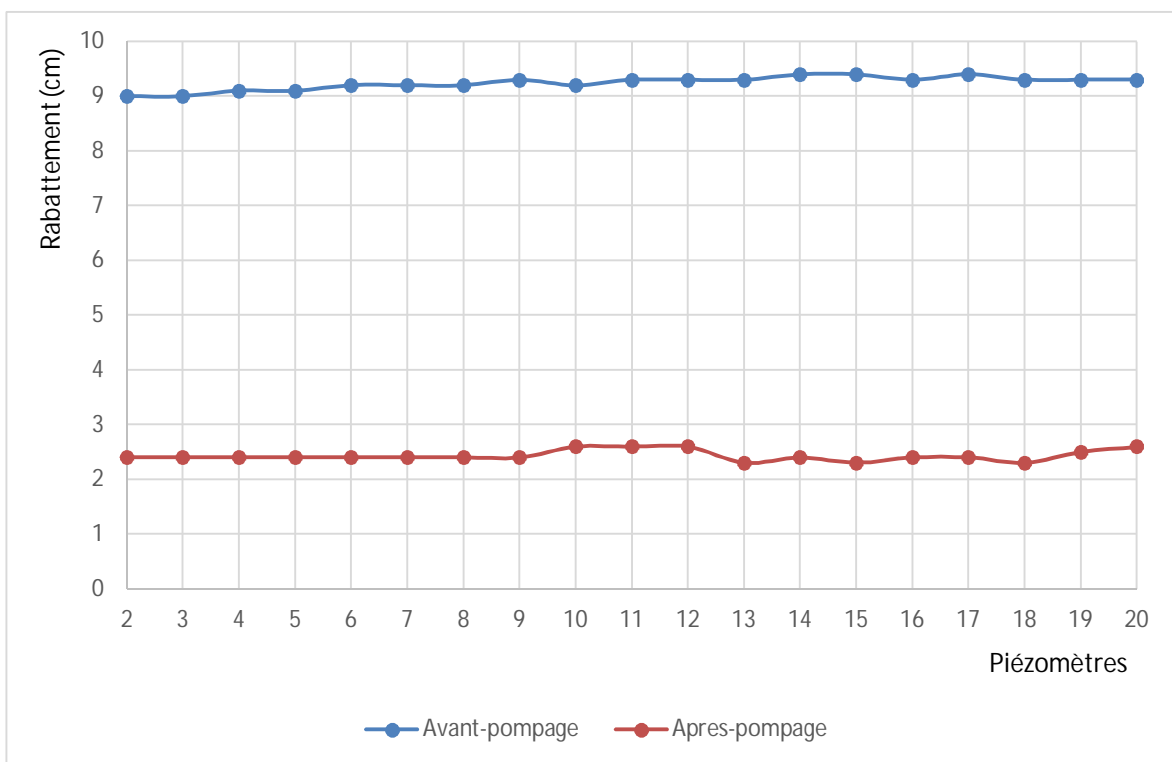


Fig.IV.55: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B avec décharge. (Formation multicouche).



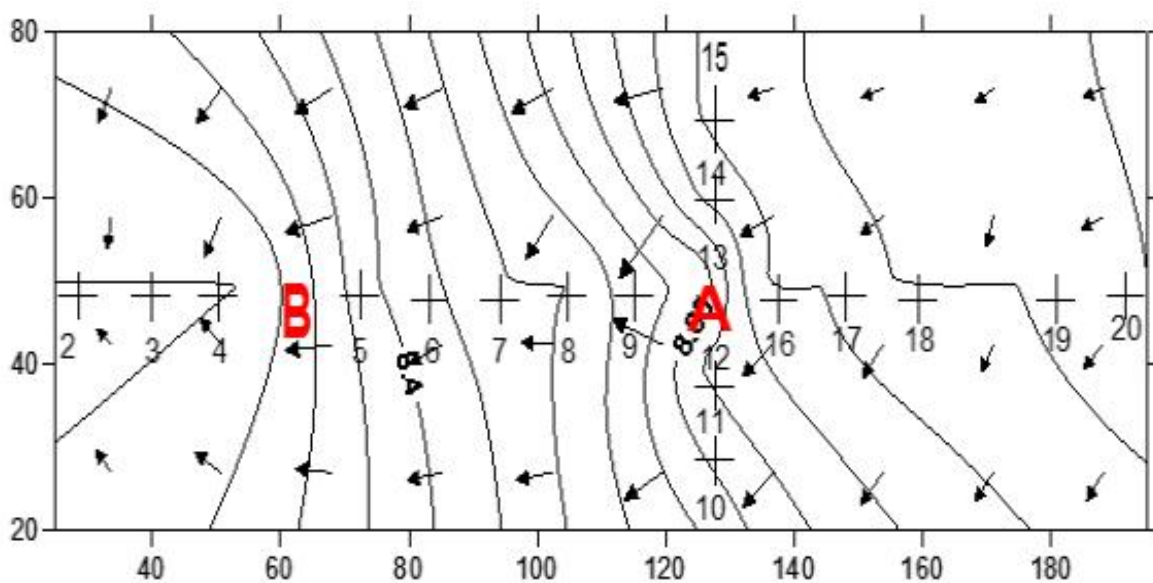


Fig.IV.56: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B avec décharge. (Formation multicouche).

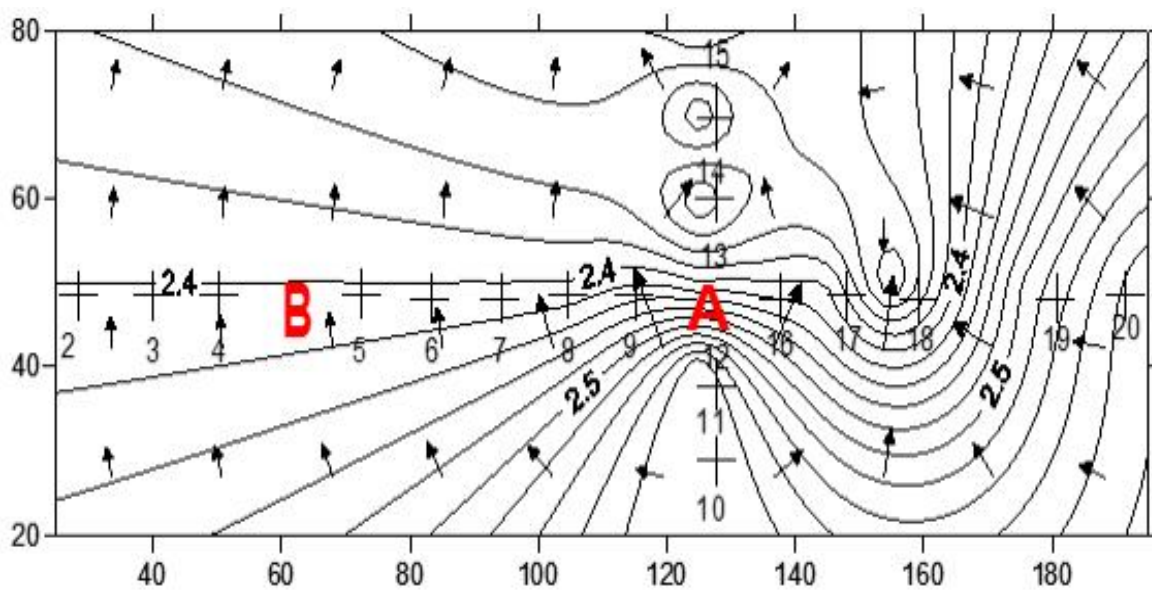
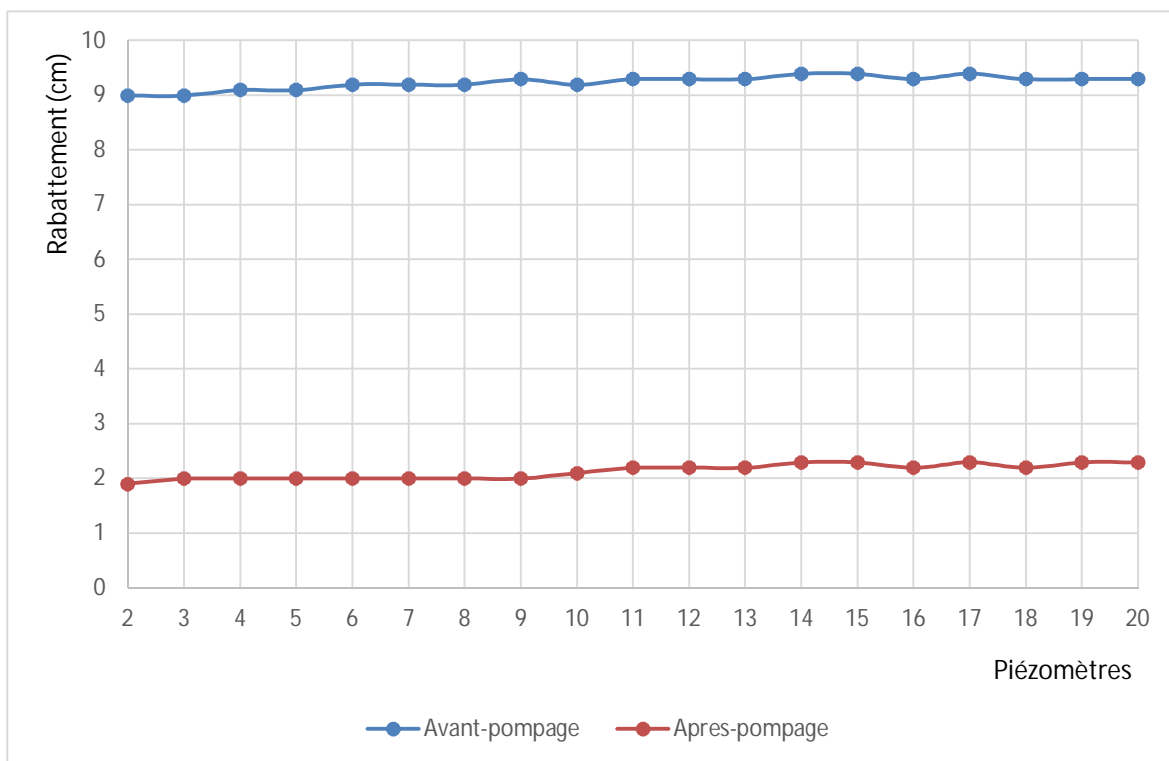


Fig.IV.57: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B avec décharge. (Formation multicouche).

**IV.4.3.6 - Essai avec pompage au puits A avec décharge :**

Dans la formation multicouche le gradient hydraulique est assez régulier est faible, l'écoulement se fait vers la décharge. Toutefois une légère dépression dans le puits A est provoquée par le pompage. Le drainage gravitaire est réalisé après 10mn de pompage et de décharge.



**Fig.IV.58: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A avec décharge. (Formation multicouche).**

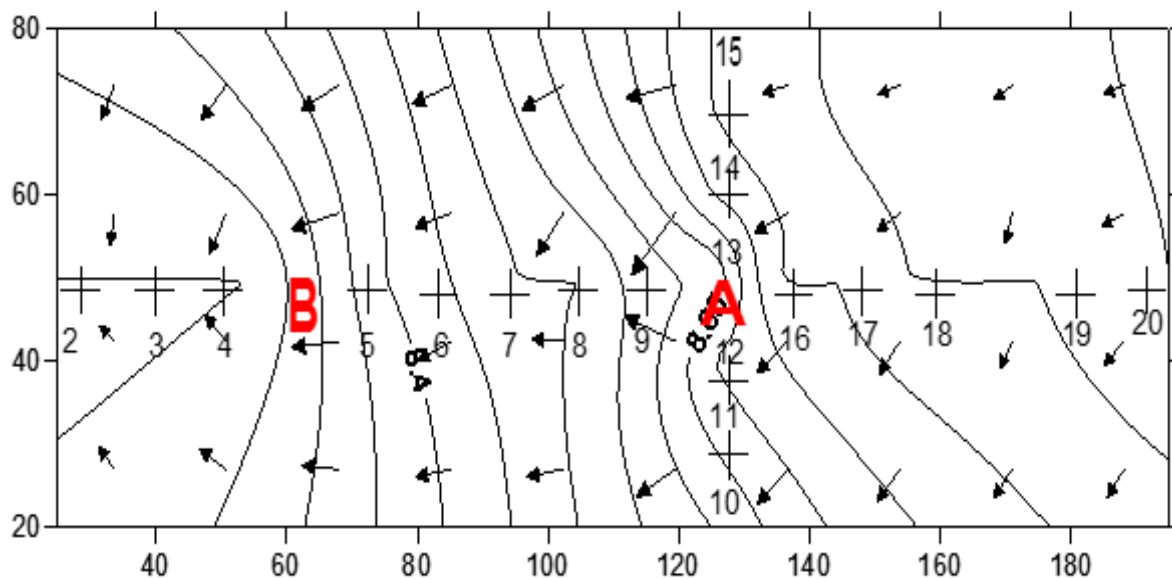


Fig.IV.59: Carte piézométrique avant le pompage au puits A avec décharge. (Formation multicouche).

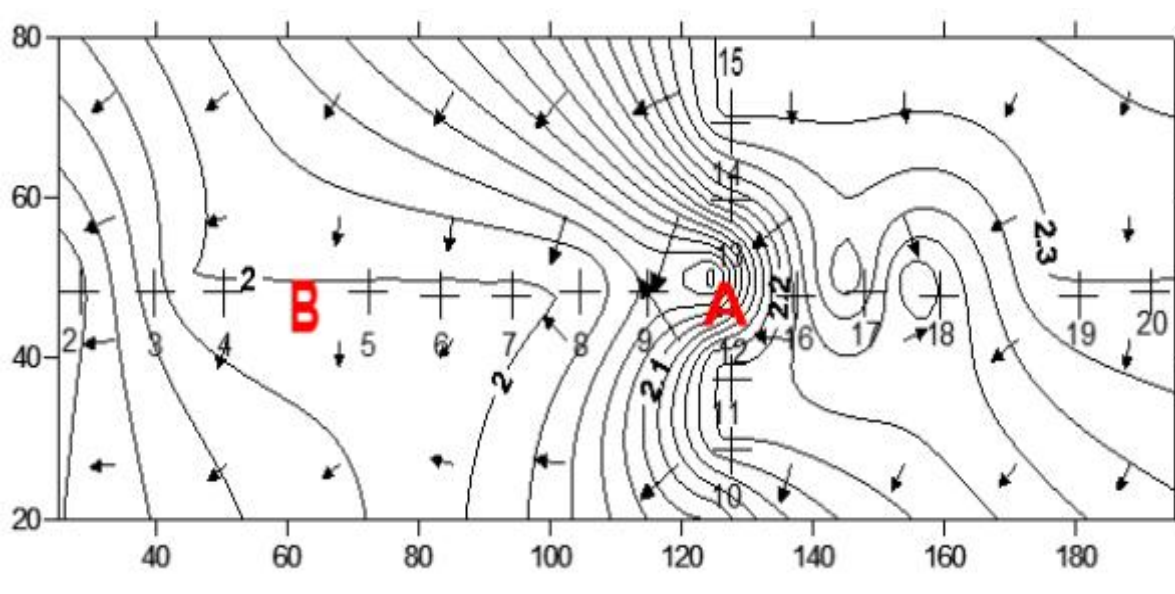
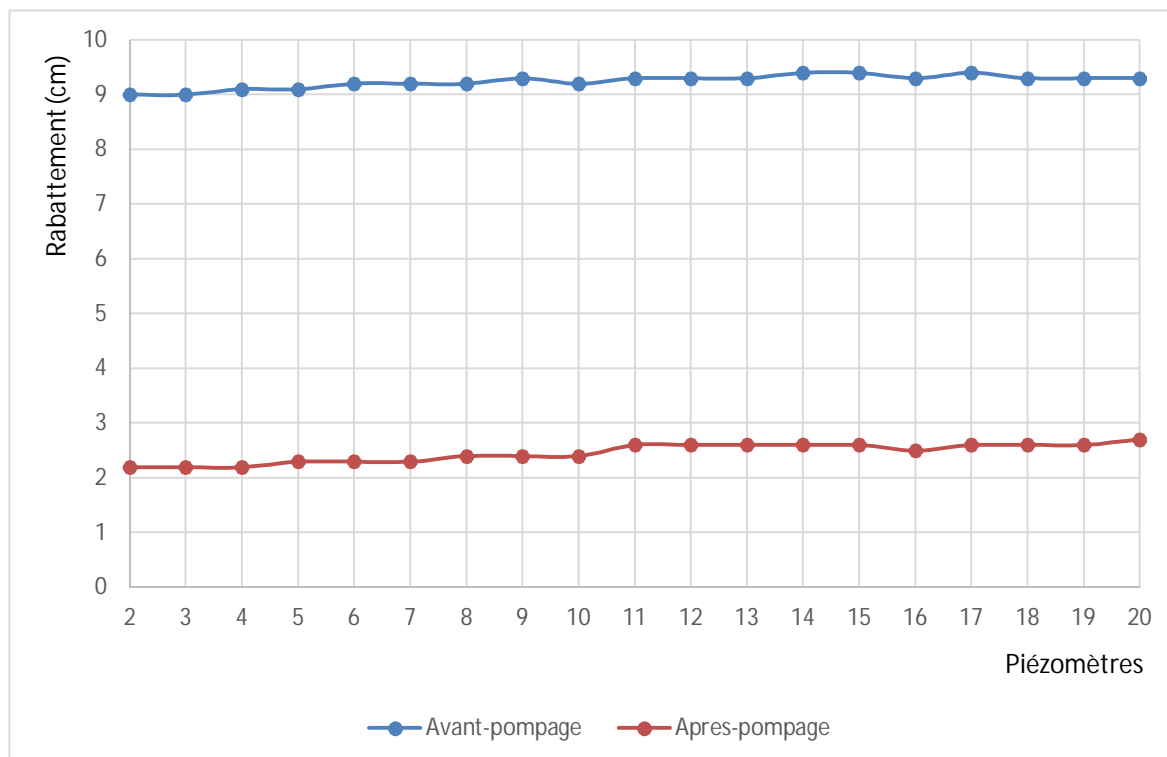


Fig.IV.60: Carte piézométrique après le pompage au puits A avec décharge. (Formation multicouche).

**IV.4.3.7 – Essai de pompage au puits B avec décharge :**

Après le pompage une perturbation dépressionnaire s'est créée sur le cercle conçu pour l'infiltration de l'eau à travers le puits A et dans la zone des piézomètres. Par contre, le pompage en B n'arrive pas à créer de dépression, le débit de la décharge étant deux fois supérieur à celui du pompage.



**Fig.IV.61: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B avec décharge. (Formation multicouche).**

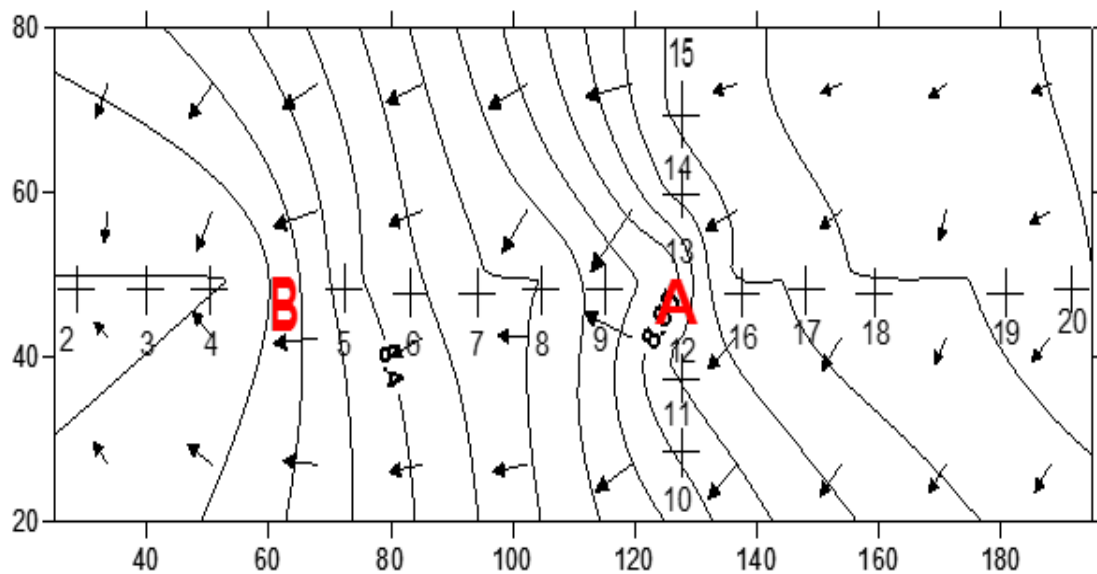


Fig.IV.62: Carte piézométrique avant le pompage au puits B avec décharge.  
(Formation multicouche).

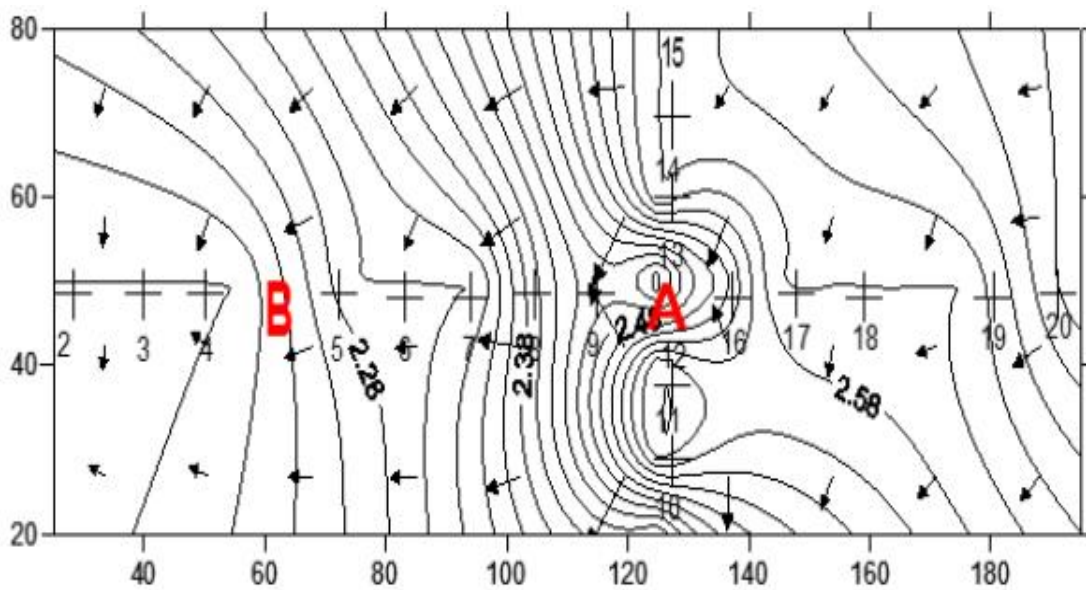


Fig.IV.63: Carte piézométrique après le pompage au puits B avec décharge.  
(Formation multicouche).

#### IV.4.3.8 – Conclusion

Des dépressions créées avant le pompage sont dues au passage de l'eau de la formation supérieure vers l'intérieur à travers l'espace conçu au niveau de l'argile-gréseuse à l'emplacement des deux puits (A, B).

Le pompage cause des dépressions au niveau des deux puits (A et/ou B), bien que le pompage soit effectué dans un seul puits, on observe une dépression au niveau de l'autre puits malgré l'absence du pompage.

Le comportement de l'aquifère multicouches est presque identique à celui du monocouche, l'épaisseur de la couche d'argile n'est pas suffisante pour créer la différence.

#### IV.4.4 -FORMATION MELANGE :

Un mélange hétérogène constitué par les trois (3) matériaux précédents a été mis à l'essai comme étant une dernière expérience, avec 45% de gravier, 45% sable et 10% de l'argile gréseuse.



**Fig.IV.64: Représentation de la formation mélange.**

IV.4.4.1 - Essai avec pompage au puits A sans décharge :

Le matériau étant saturé, nous y observons qu'avant pompage, les courbes piézométriques présentent un resserrement donc un gradient hydraulique plus accentué dans la zone du puits A et des piézomètres latéraux alors qu'aux limites aval et amont, les courbes sont plus espacées. Le pompage au puits A forme une dépression dissymétrique de plus grand rayon d'influence vers le puits B donnant l'impression que le pompage s'effectue dans les deux puits A et B.

Le drainage gravitaire n'est pas total après 20mn de pompage, le matériau constitué est de plus faible perméabilité

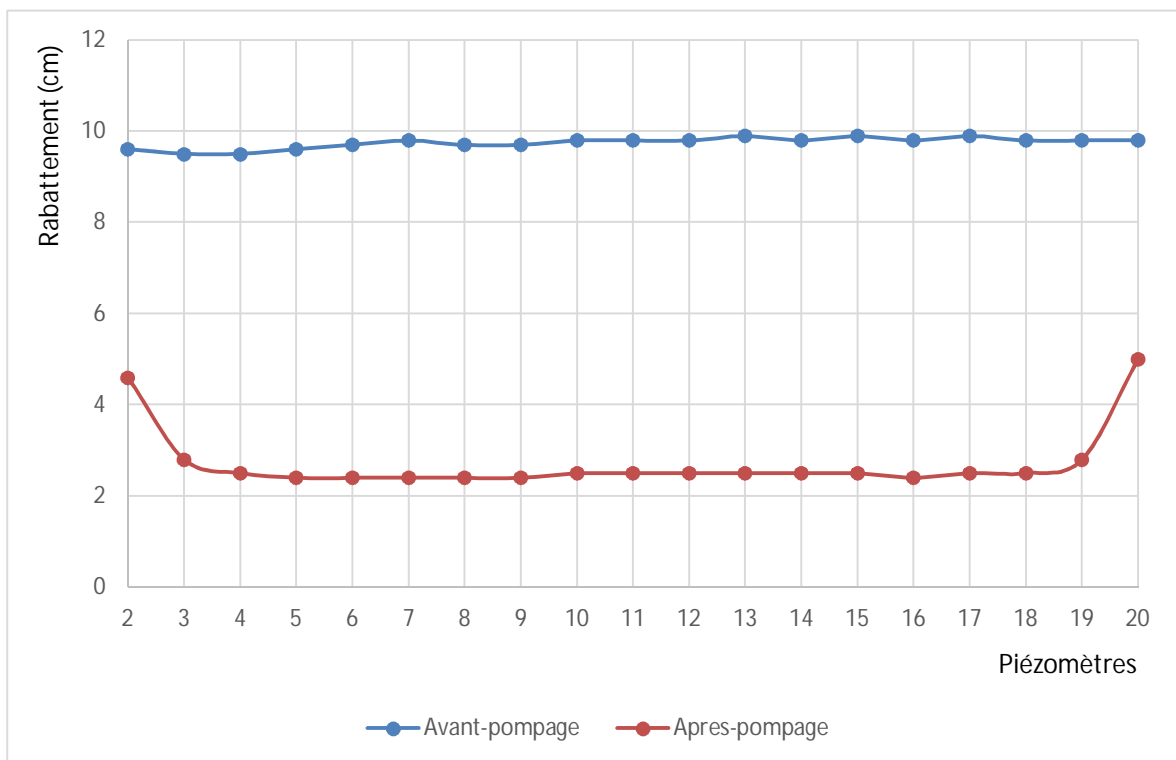


Fig.IV.65: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge. (La formation mélange).



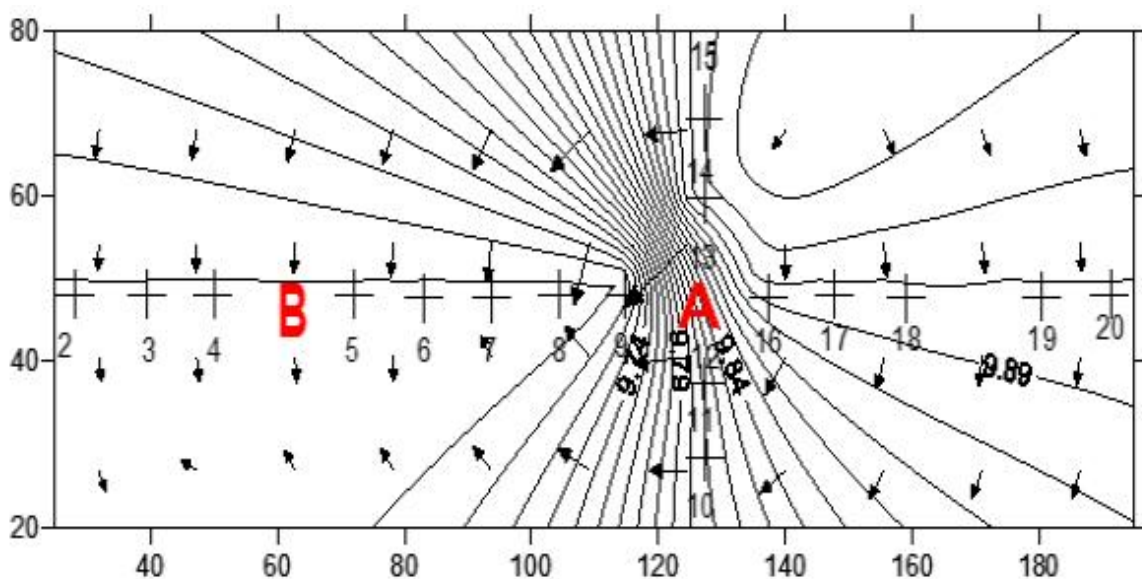


Fig.IV.66: Carte piézométrique avant le pompage au puits A sans décharge. (Formation mélange).

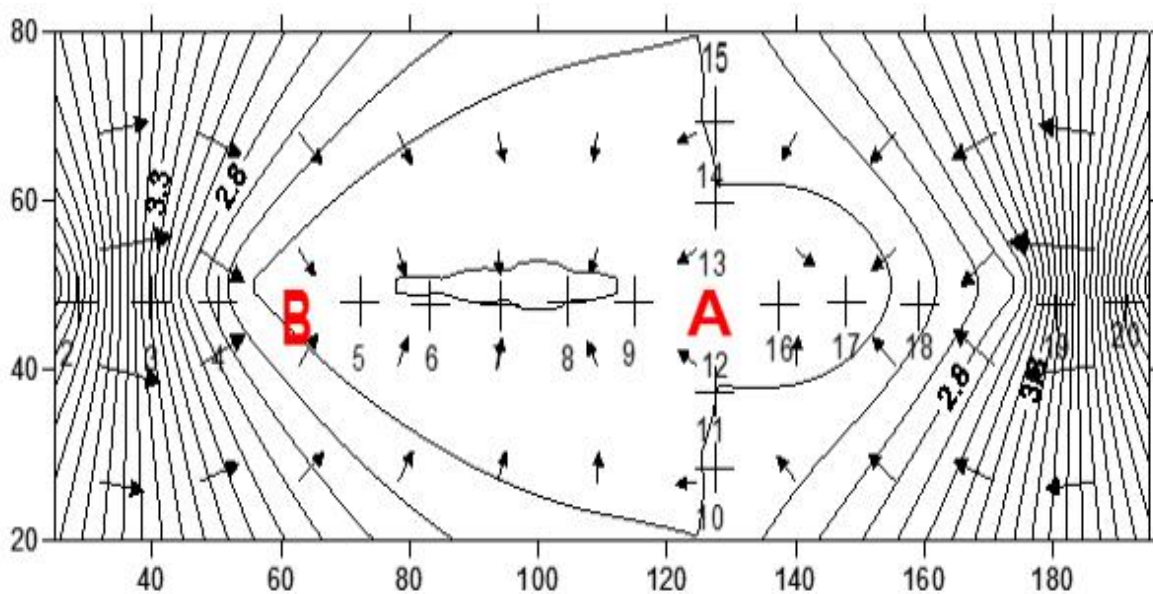


Fig.IV.67: Carte piézométrique après le pompage au puits A sans décharge. (Formation mélange).



IV.4.4.2 - Essai avec pompage au puits A sans décharge :

Le matériau étant saturé, On observe qu'avant pompage, les courbes piézométriques présentent un resserrement donc un gradient hydraulique plus accentué dans la zone du puits A et des piézomètres latéraux alors qu'aux limites aval et amont, les courbes sont plus espacées.

Le pompage au puits B induit une dépression dissymétrique de grand rayon d'influence vers le puits A donnant l'impression que le pompage s'effectue dans les deux puits A et B.

Le drainage gravitaire n'est pas total après 20mn de pompage, le matériau constitué est de plus faible perméabilité.

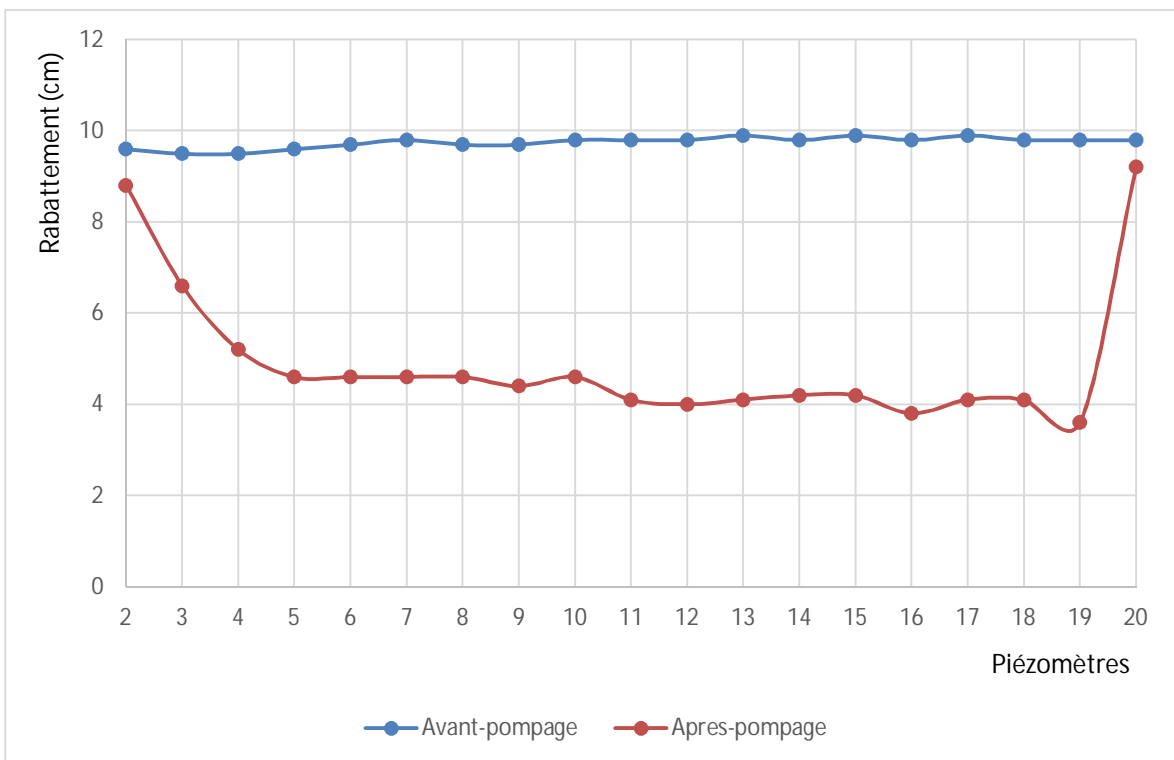


Fig.IV.68: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge. (Formation mélange).

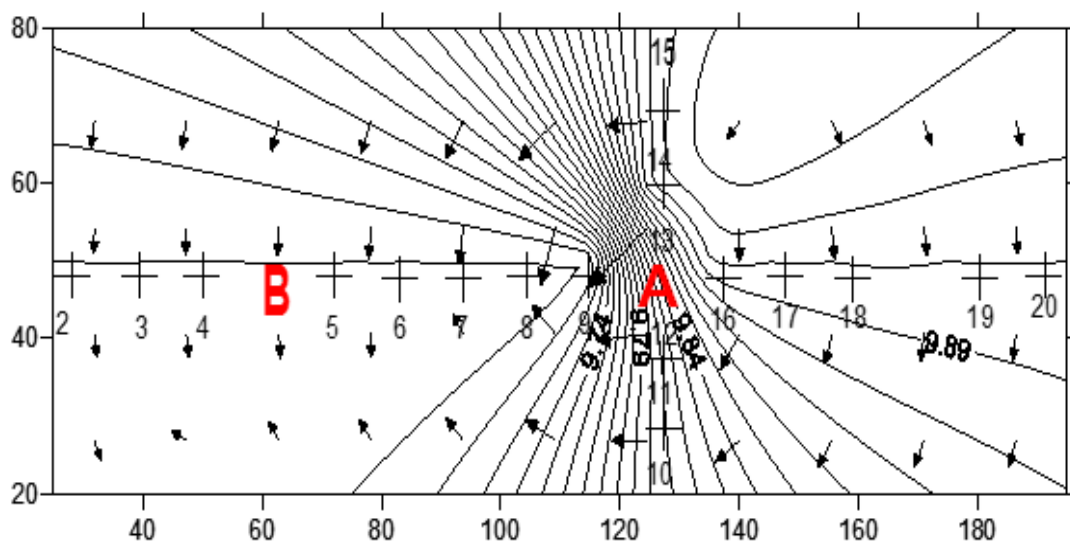


Fig.IV.69: Carte piézométrique avant le pompage au puits B sans décharge.  
(Formation mélange).

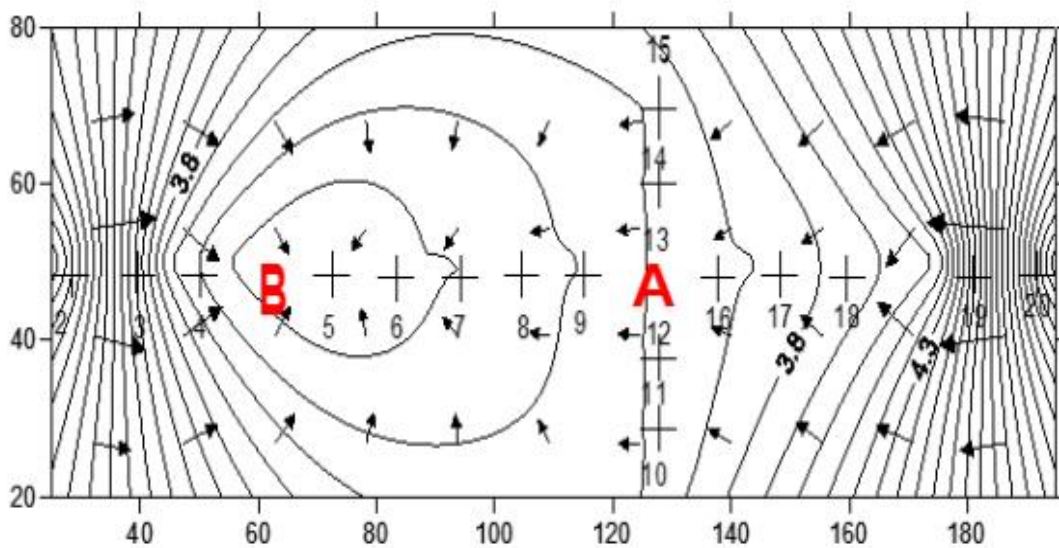
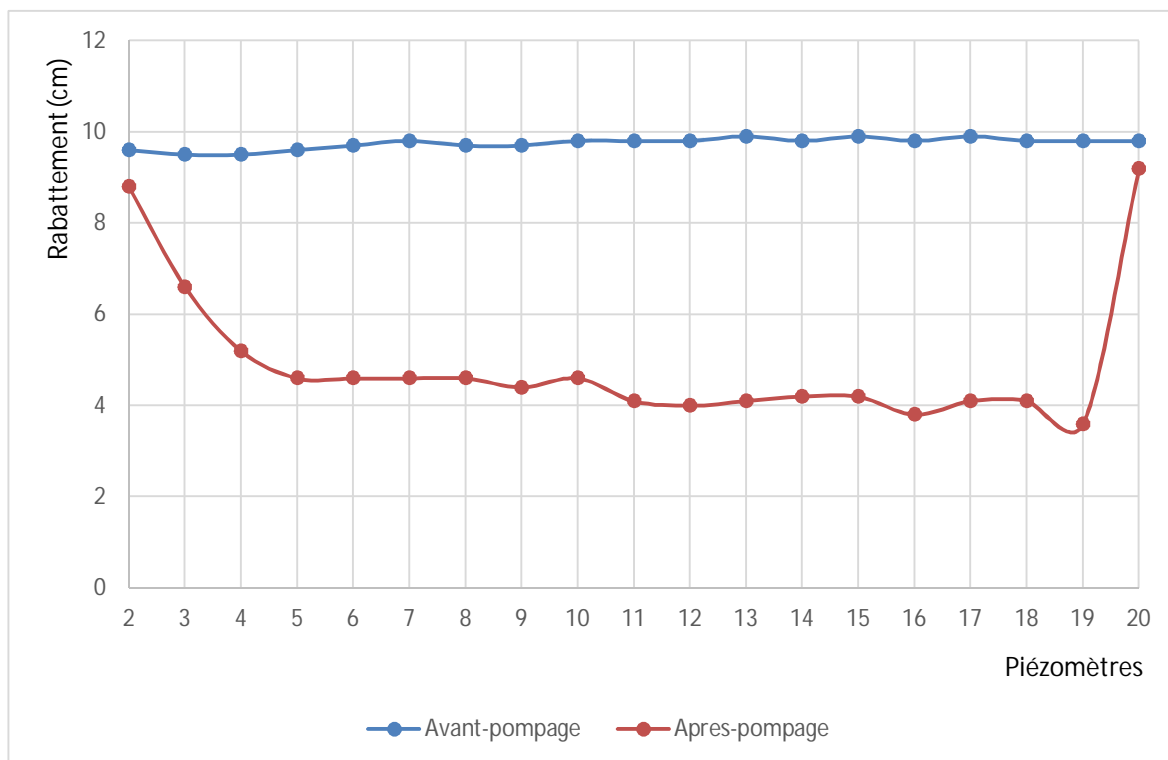


Fig.IV.70: Carte piézométrique après le pompage au puits B sans décharge.  
(Formation mélange).

**IV.4.4.3 - Essai avec pompage aux puits A et B sans décharge :**

Avant le pompage le même cas se répète, mais après le pompage, nous distinguons la création des dépressions au niveau des deux puits A et B avec un rabattement de 4 cm de chaque côté, avec un débit de pompage de 0.095 L/s.



**Fig.IV.71: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge. (Formation mélange).**

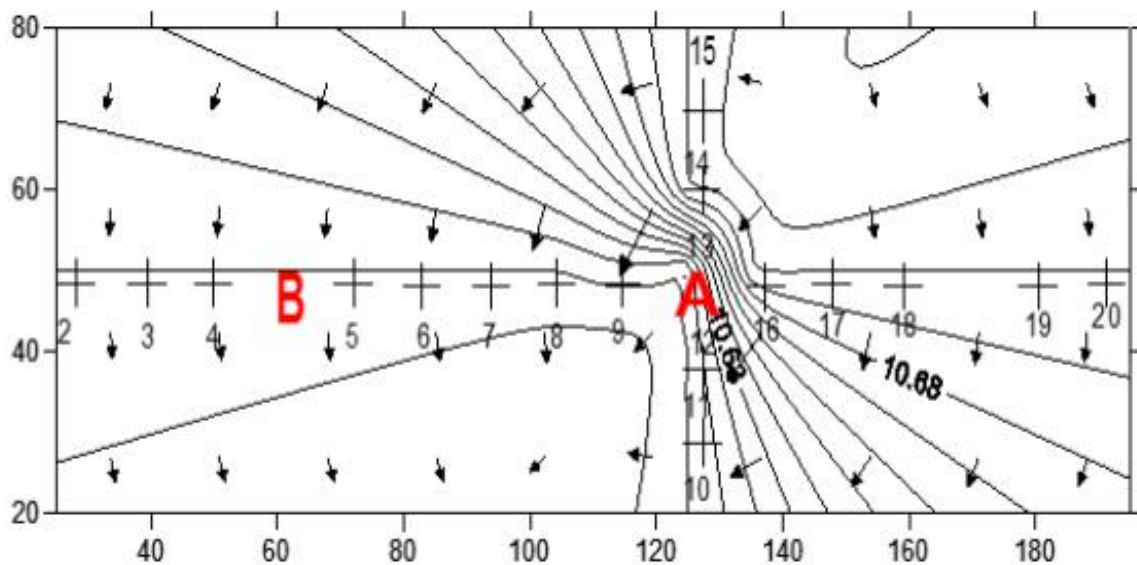


Fig.IV.72: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B sans décharge.  
(Formation mélange).

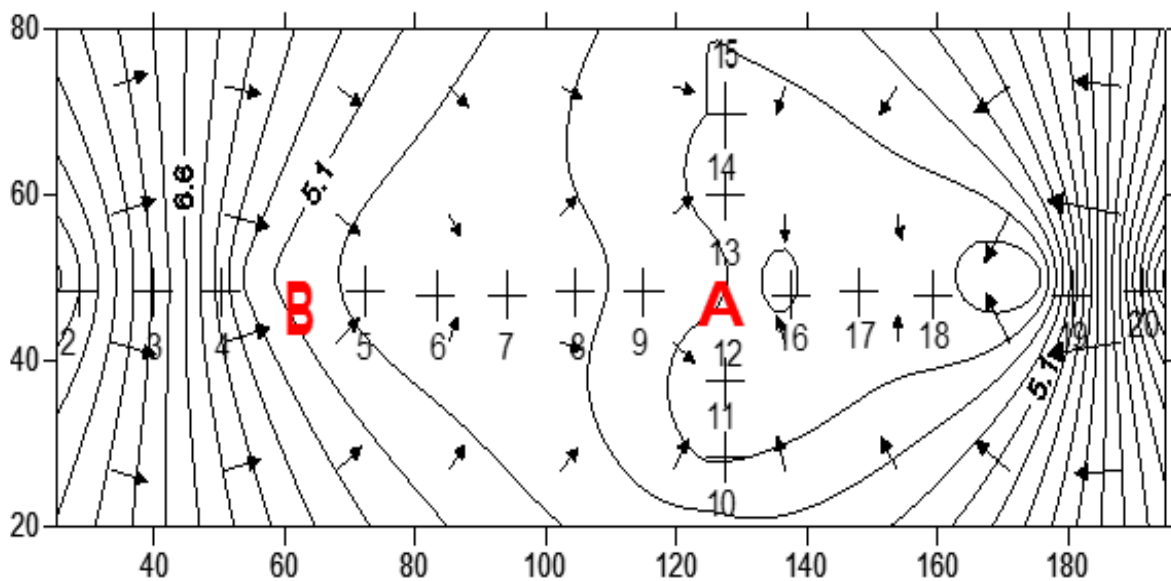


Fig.IV.73: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B sans décharge.  
(Formation mélange).

**IV.4.4.3 - Conclusion :**

Dans cette formation nous observons des dépressions dispersées à travers le banc, ces dernières sont créées lors du pompage.

**IV.5 - Essai de pompage au niveau du puits A :**

Après l'ouverture de la vanne au puits A, nous avons remarqué un abaissement des niveaux piézométriques P9, P12, P13, P16.

Concernant le puits B, au fur et à mesure des essais réalisés, nous avons aperçus un rabattement au niveau des piézomètres P4, P5.

**IV.6-Présentation des résultats :**

Les résultats des rabattements de chaque piézomètre observés sont portés sur une feuille semi-logarithmique en fonction du temps correspondant.

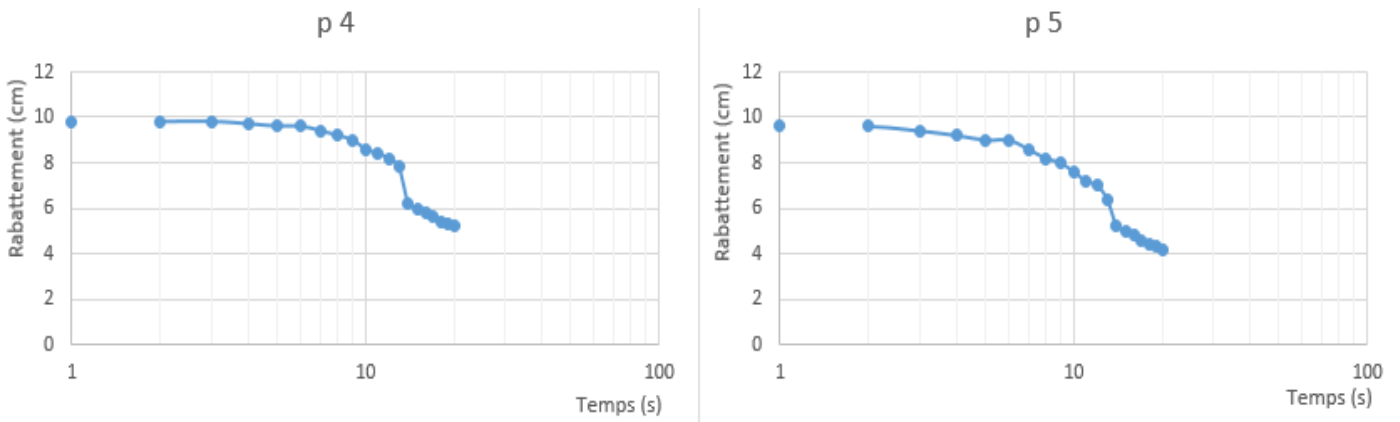
Les rabattements sont portés sur une échelle arithmétique en ordonnée et le temps en abscisses sur une échelle horizontale logarithmique.

Les résultats sont donnés dans le tableau n°35 et les figures **IV.74 - IV.109**.

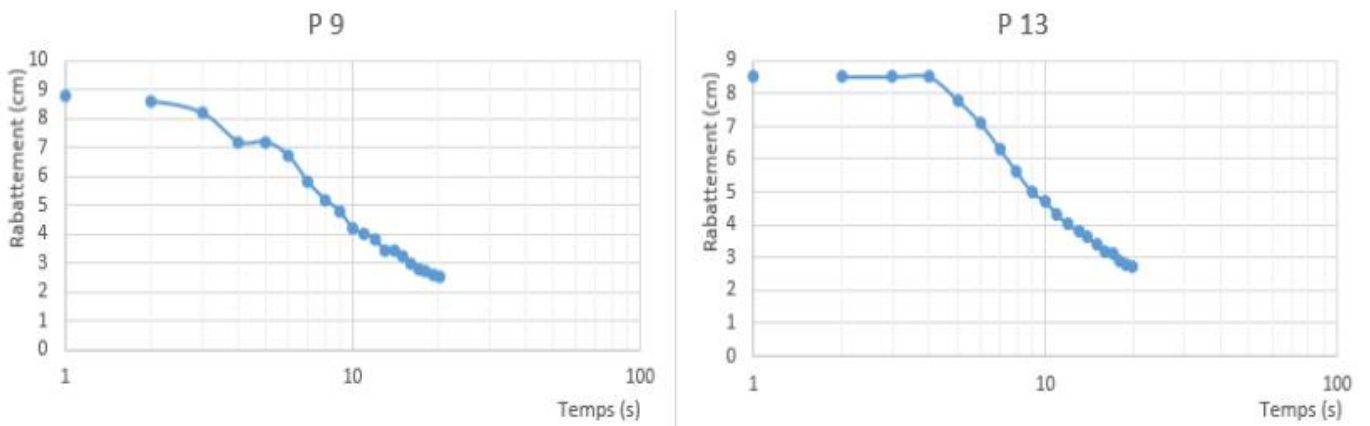
Les courbes des rabattements observés aux piézomètres n° 4, 5, 9, 12,13 et 16 :

**IV. 6.1- Sable – gravier :**

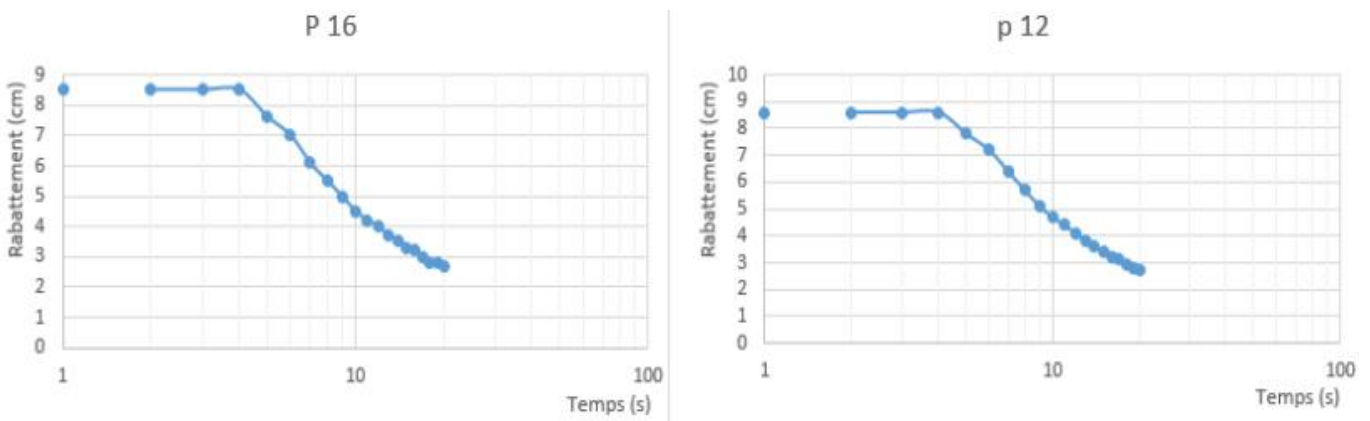
**IV.6.1.1 – Pompage d’essai au puits A :**



**Fig.IV.74 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.**



**Fig.IV.75 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P13.**



**Fig.IV.76 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P12 et P16.**

IV.6.1.2 – Pompage d’essai au puits B :

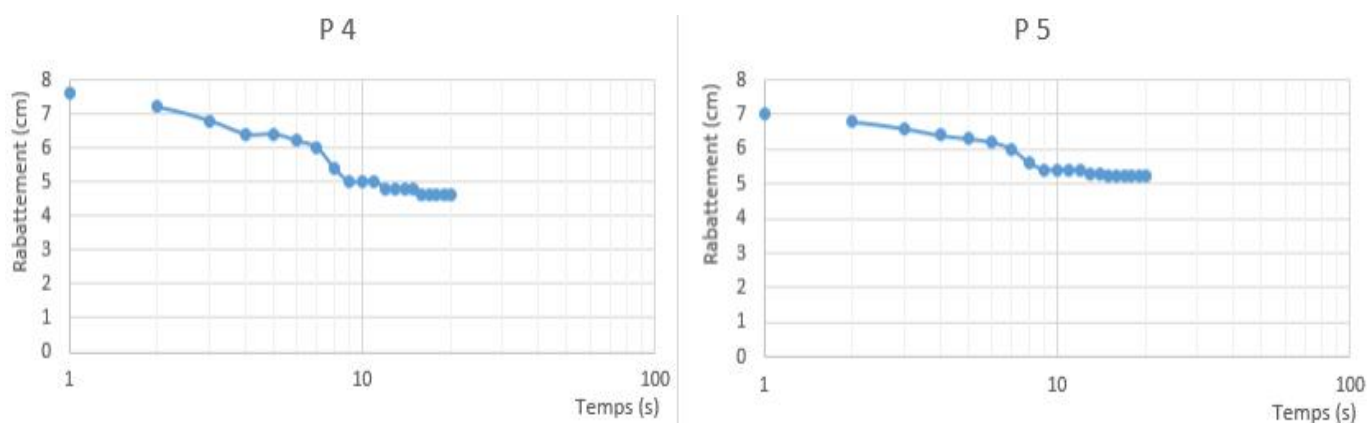


Fig. IV.77 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

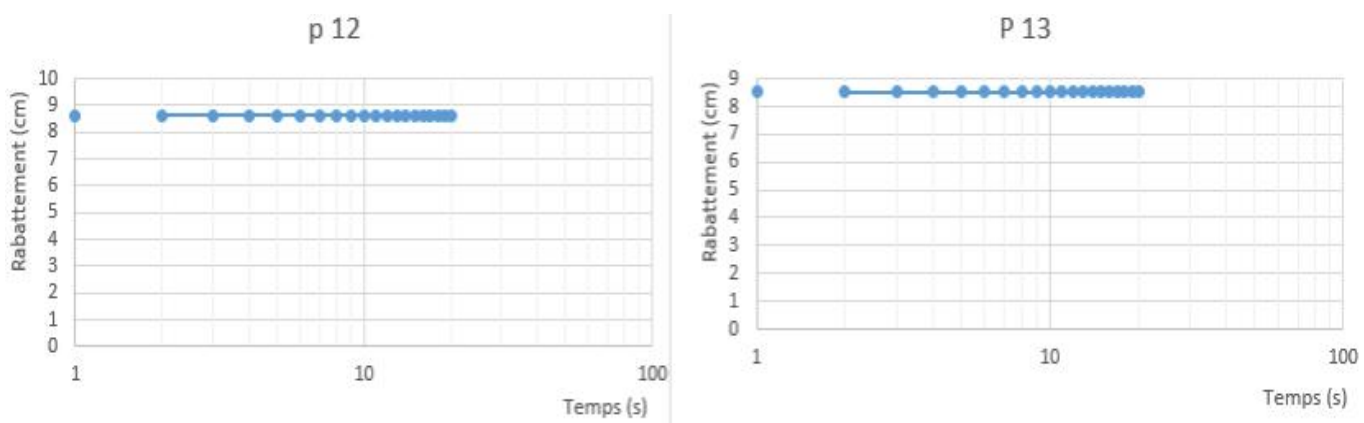


Fig.IV.78 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P12 et P13.

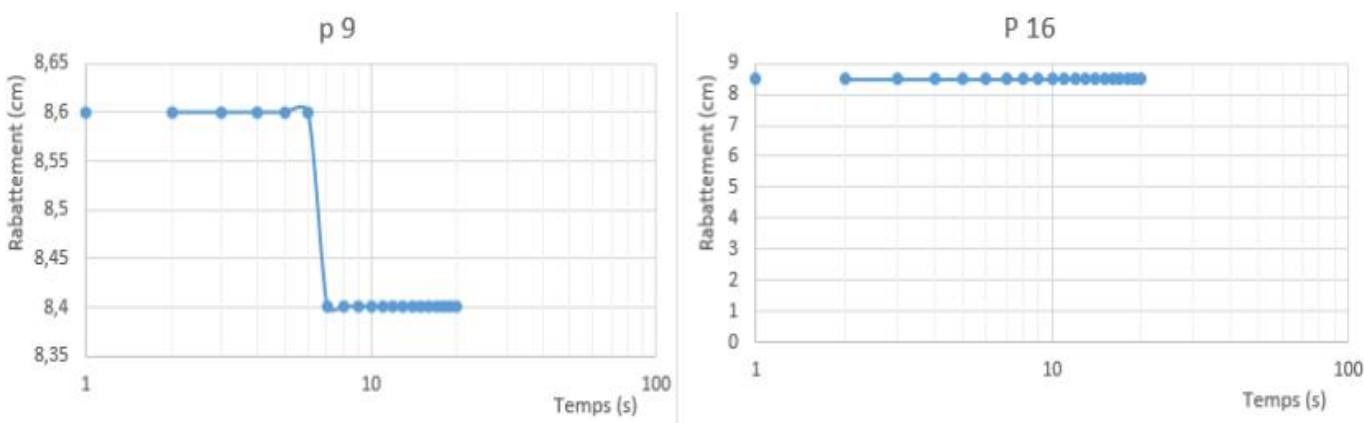


Fig. IV.79 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P16.

IV.6.1.3 – Pompage d’essai aux puits A et B :

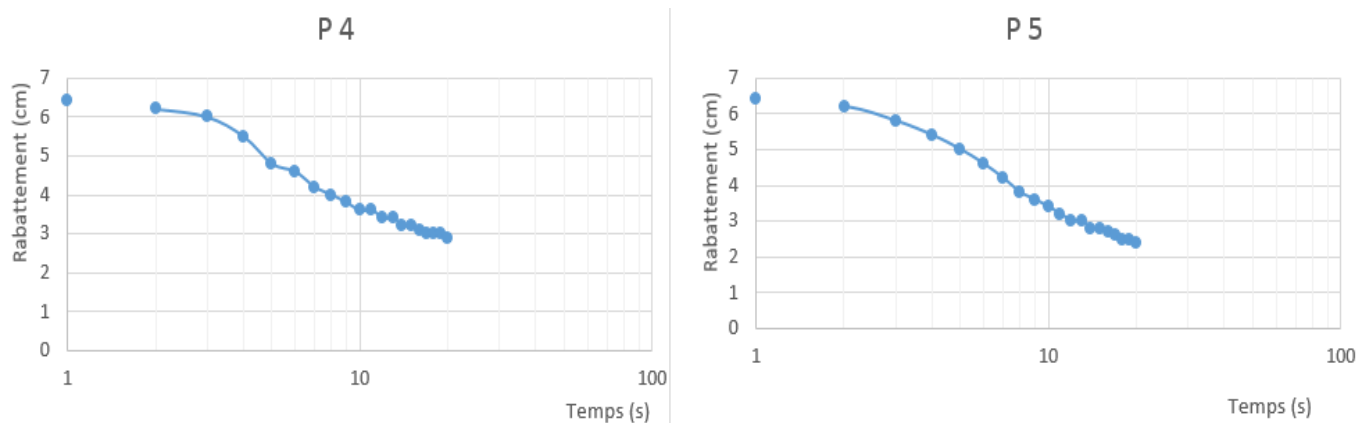


Fig.IV.80 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

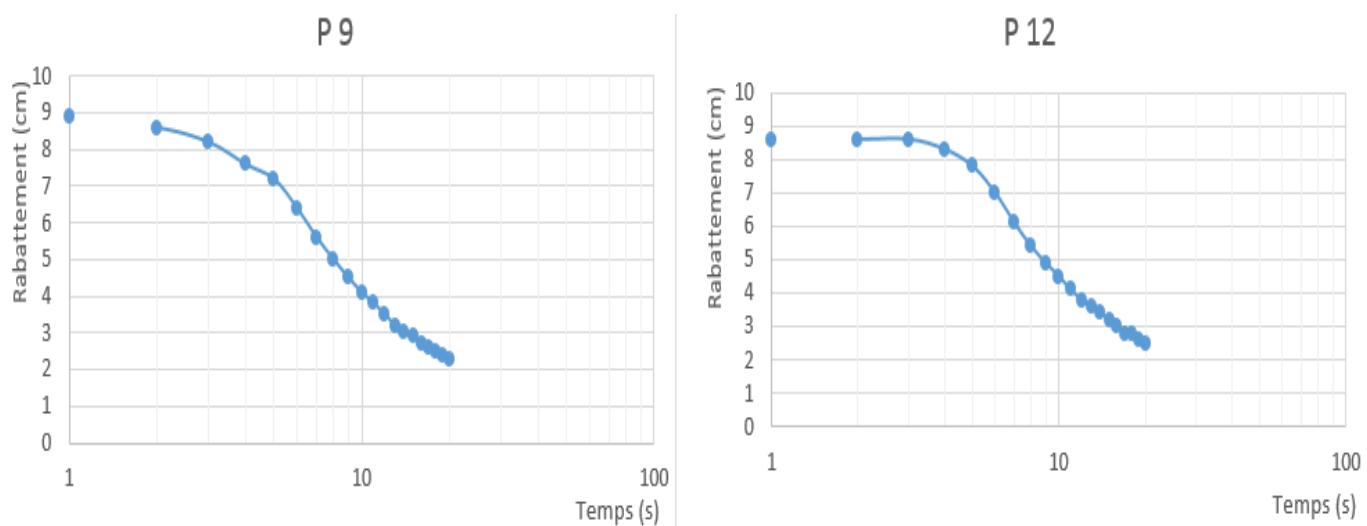


Fig.IV.81 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

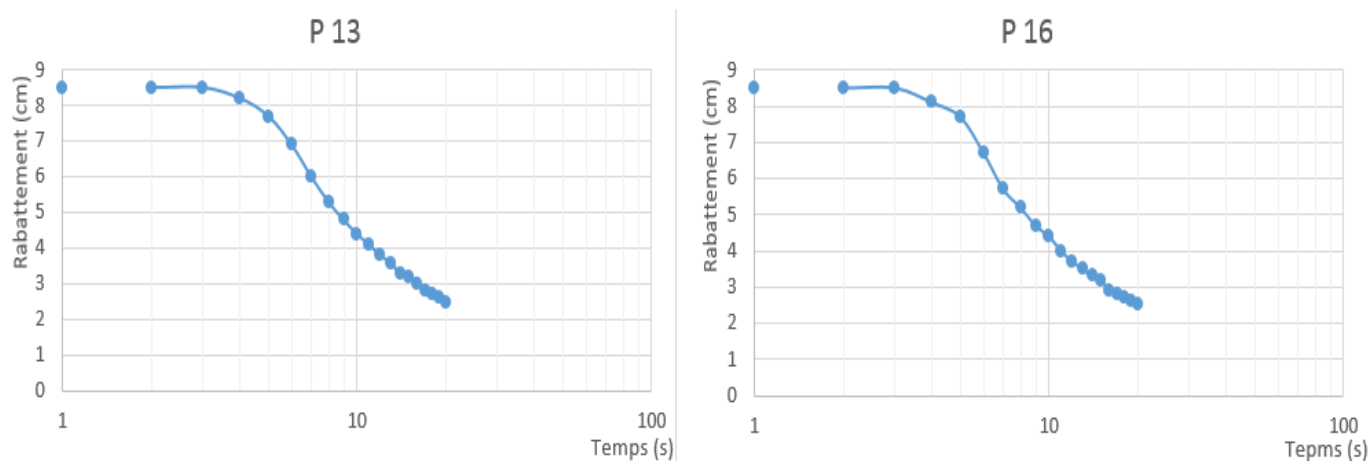


Fig.IV.82 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.



IV. 6.2 - Gravier – sable :

IV.6.2.1 – Pompage d’essai au puits A :

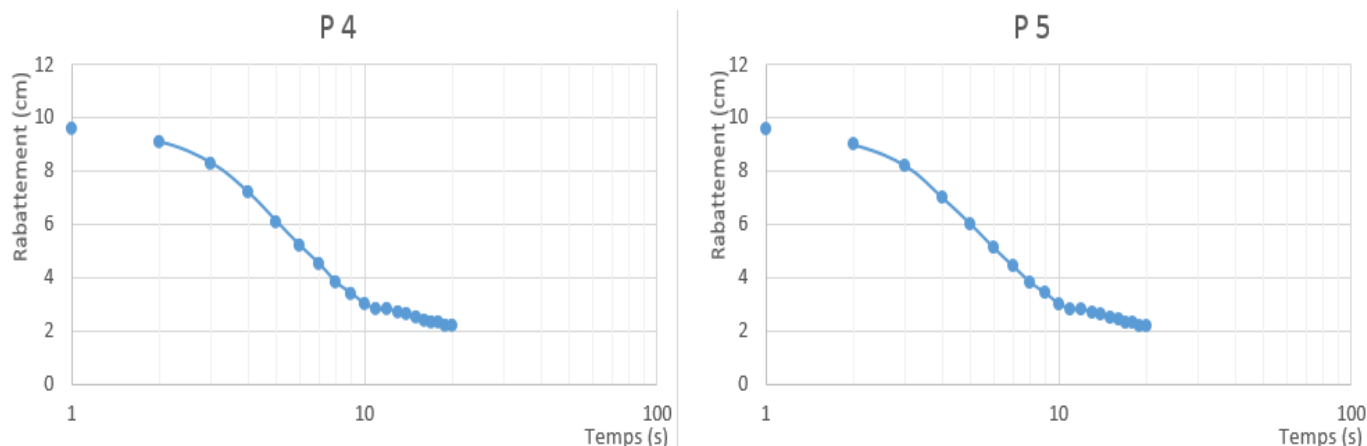


Fig.IV.83 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

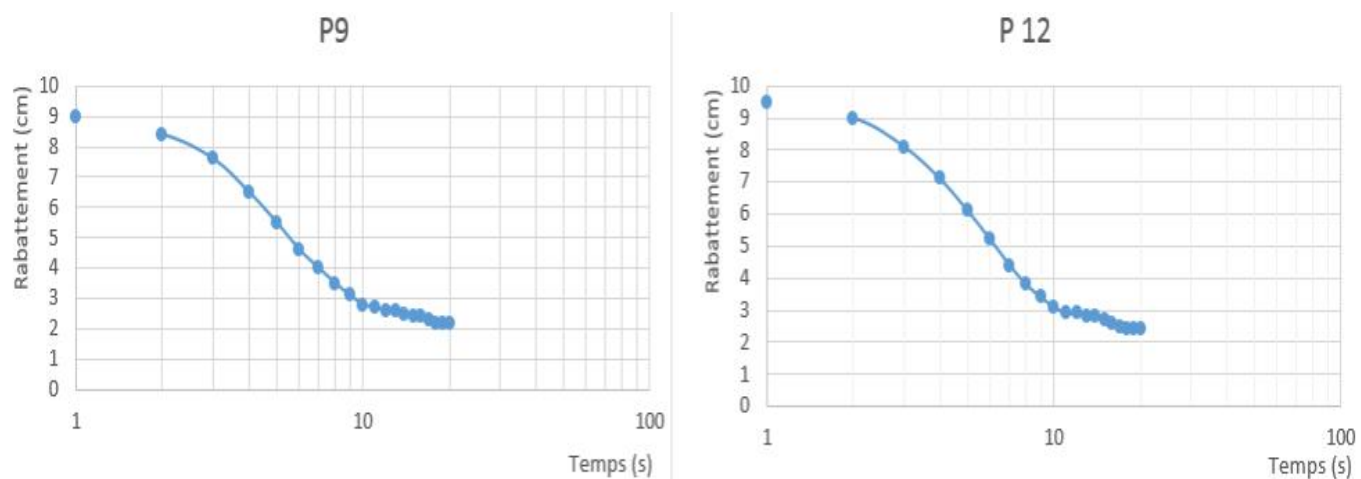


Fig.IV.84 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

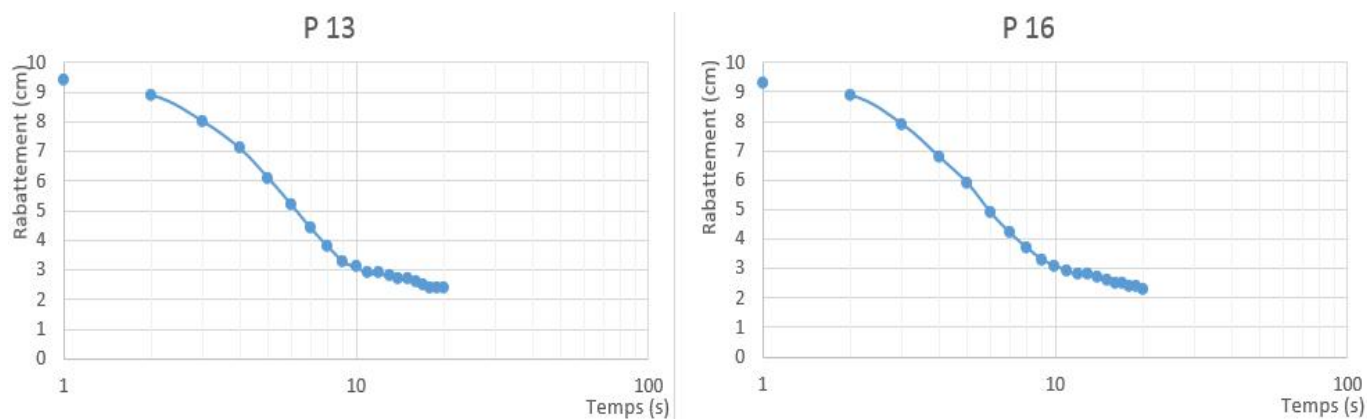


Fig.IV.85 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV.6.2.2 – Pompage d’essai au puits B :

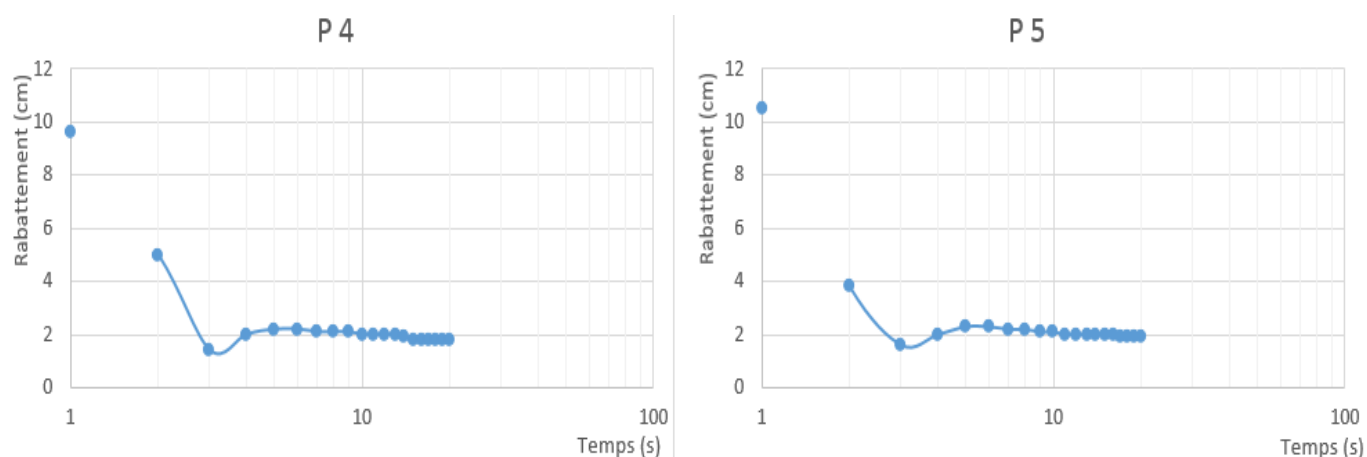


Fig.IV.86 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

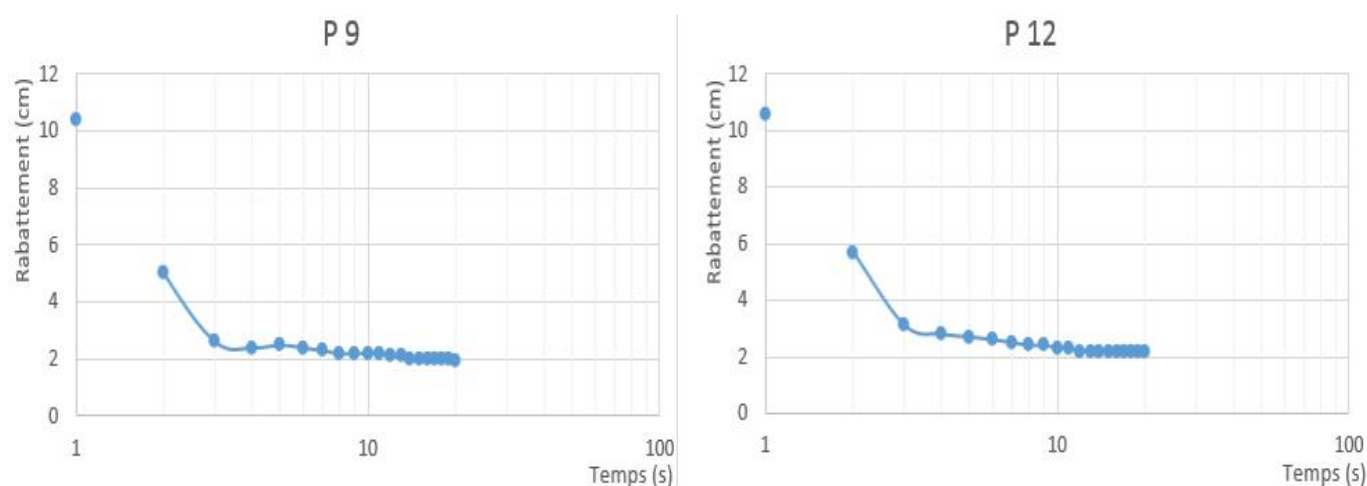


Fig.IV.87 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

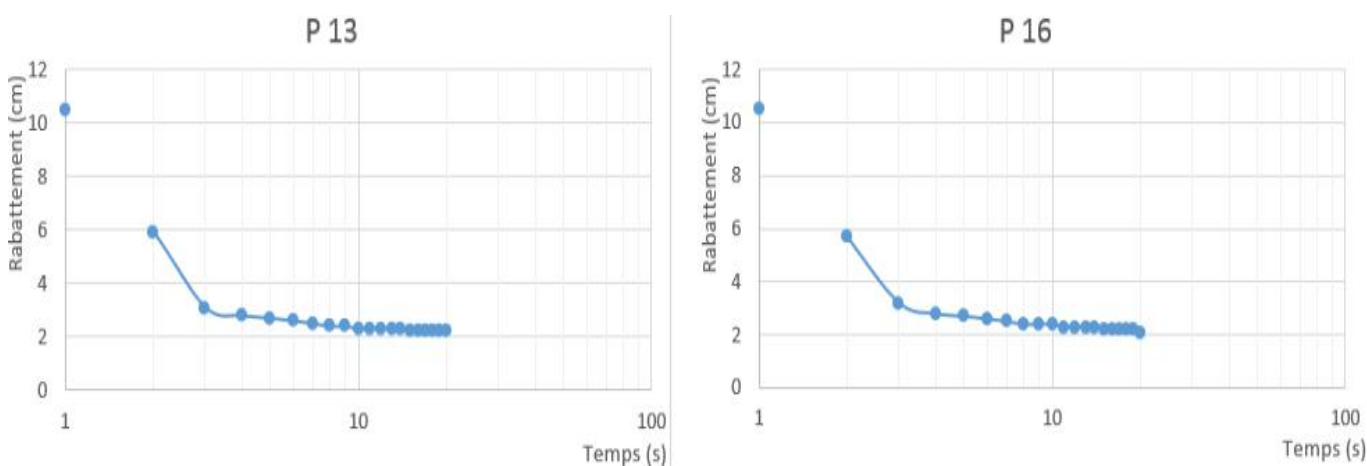


Fig.IV.88 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV.6.2.3 – Pompage d’essai aux puits A et B :

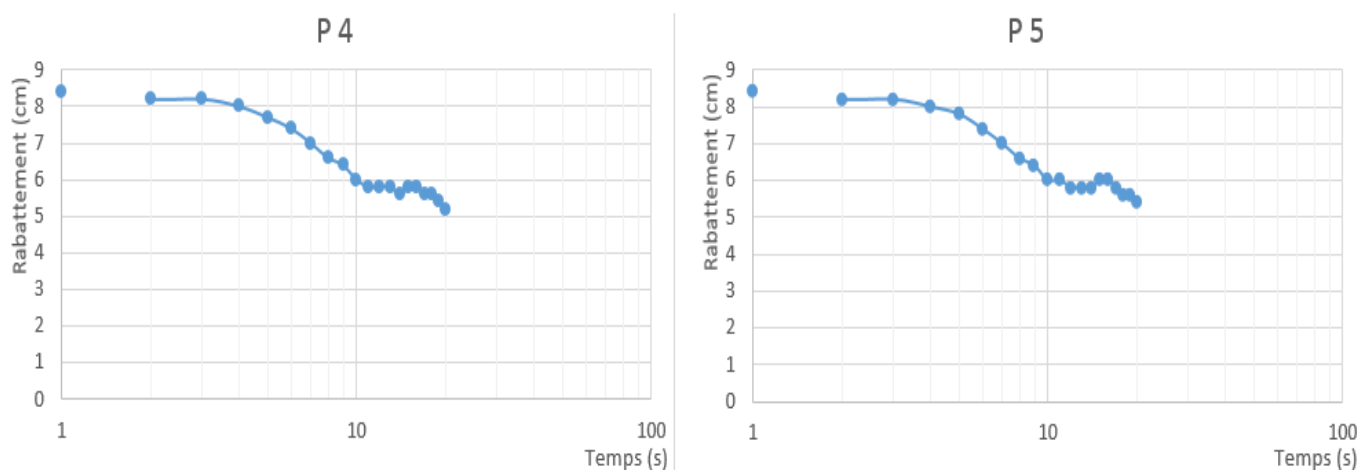


Fig.IV.89 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

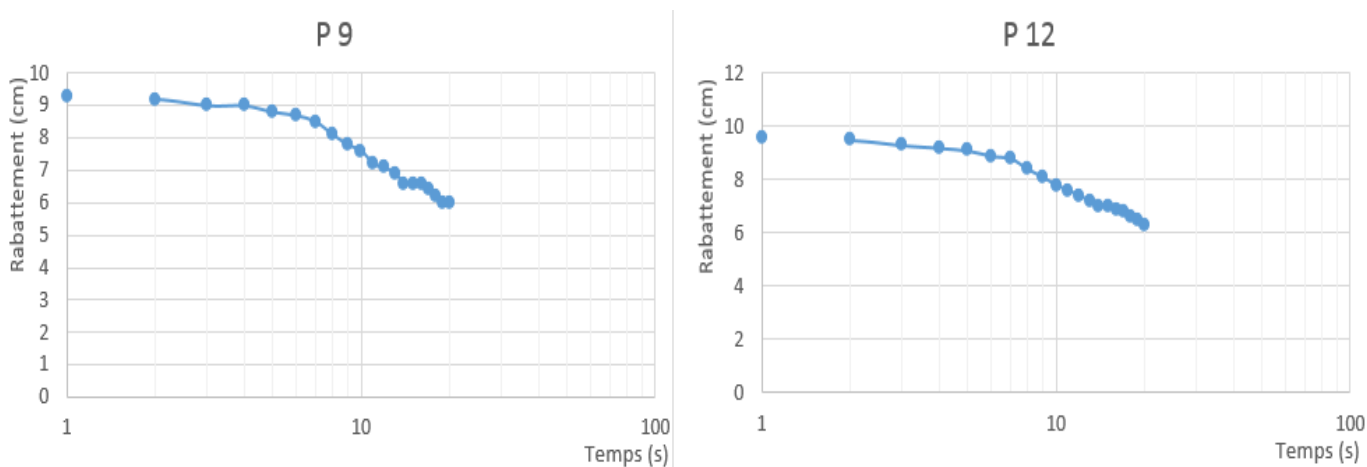


Fig.IV.90 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

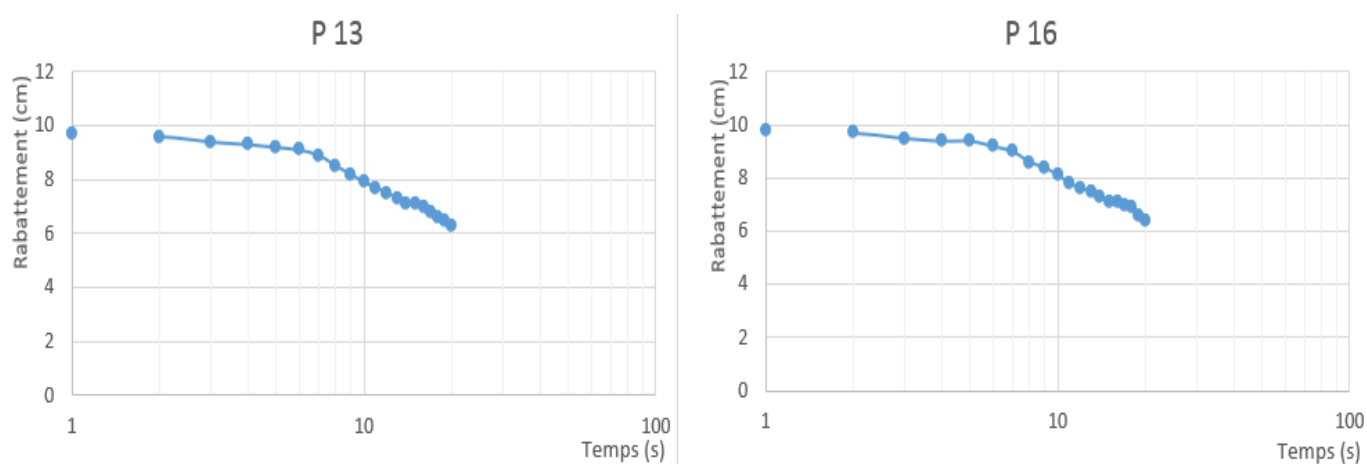


Fig.IV.91 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV. 6.3 - Multicouches :

IV.6.3.1 – Pompage d’essai au puits A :

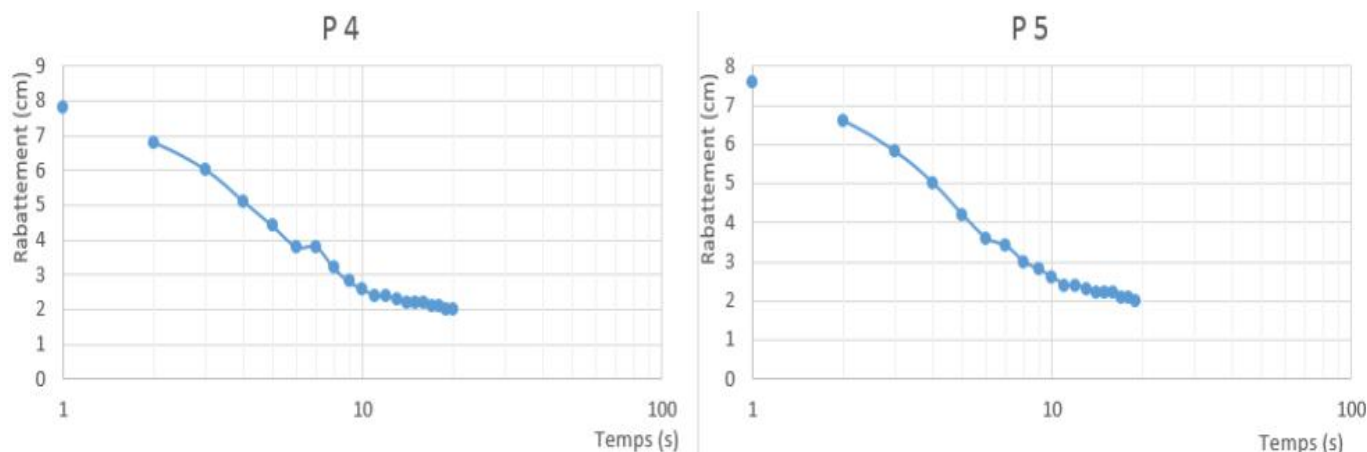


Fig.IV.92 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

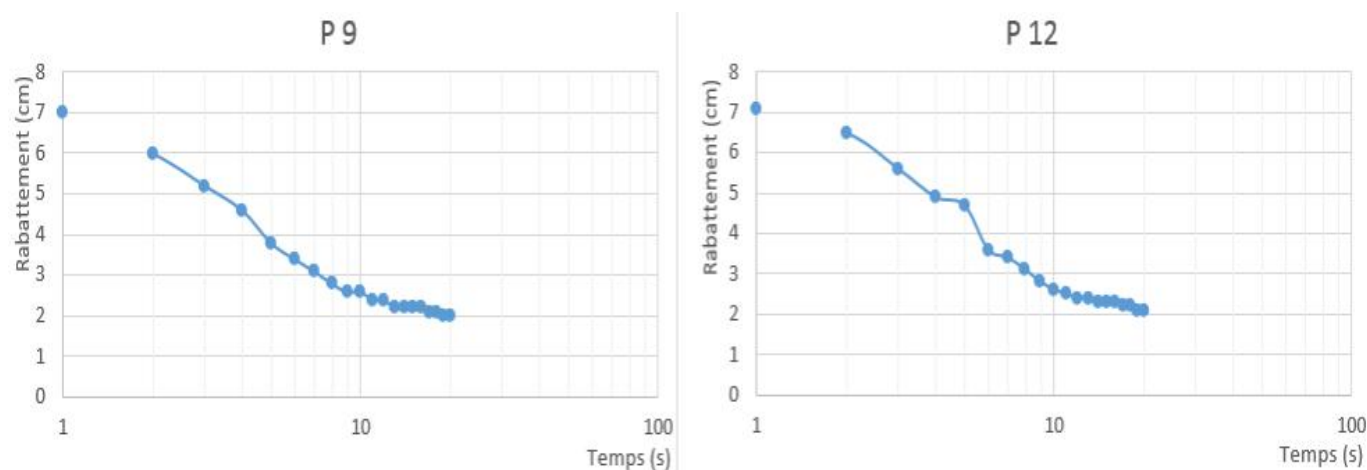


Fig.IV.93 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

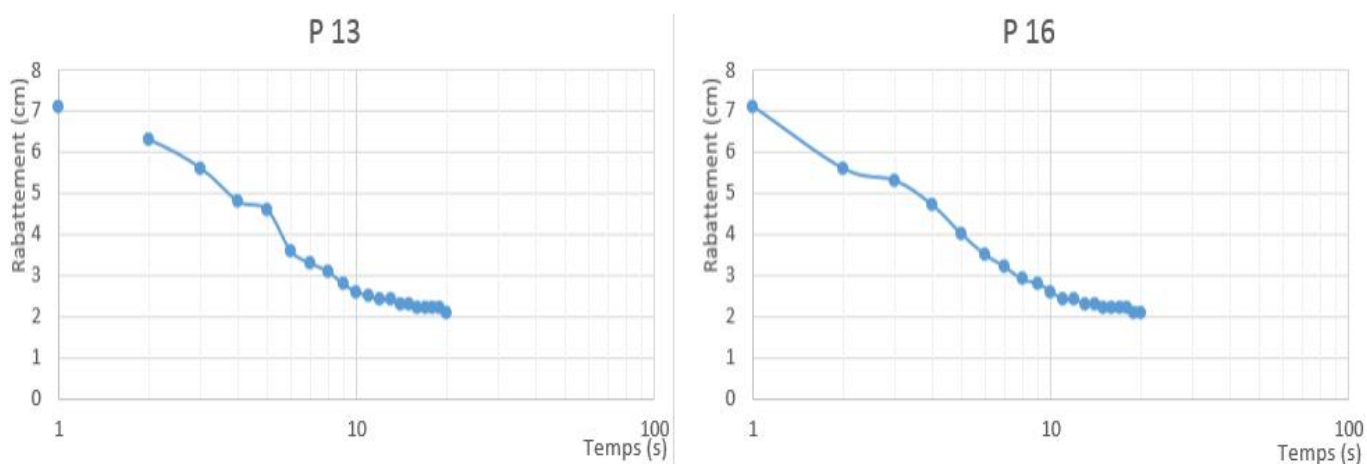


Fig.IV.94 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV.6.3.2 – Pompage d’essai au puits B :

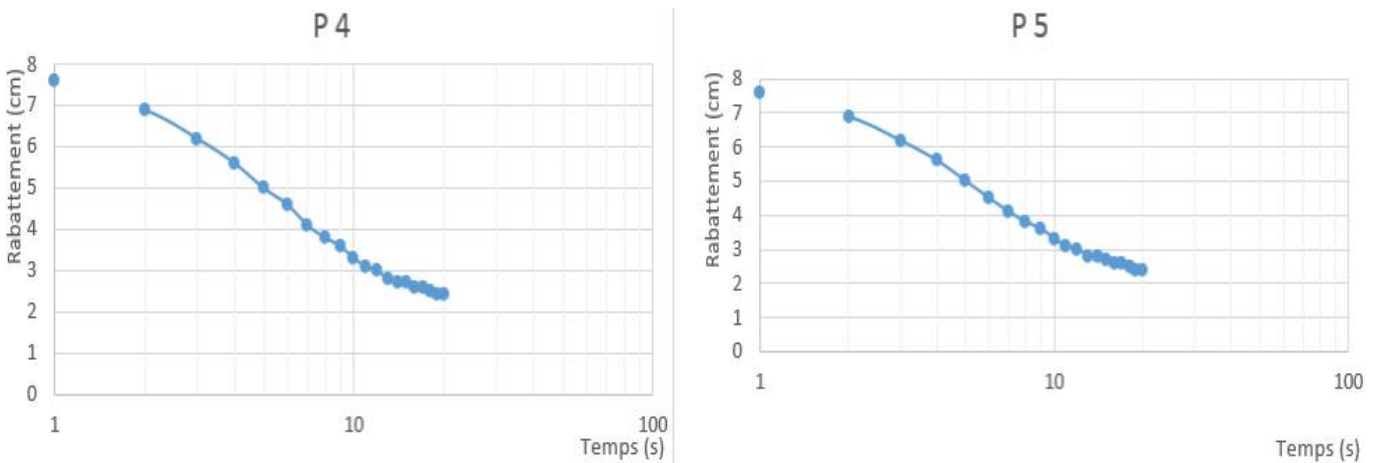


Fig.IV.95 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

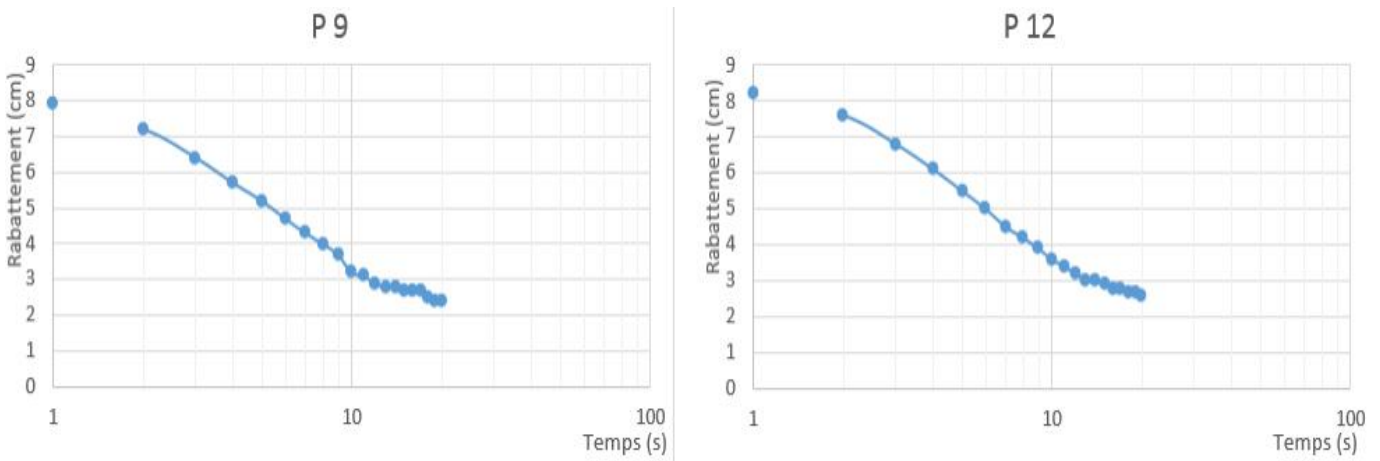


Fig.IV.96 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

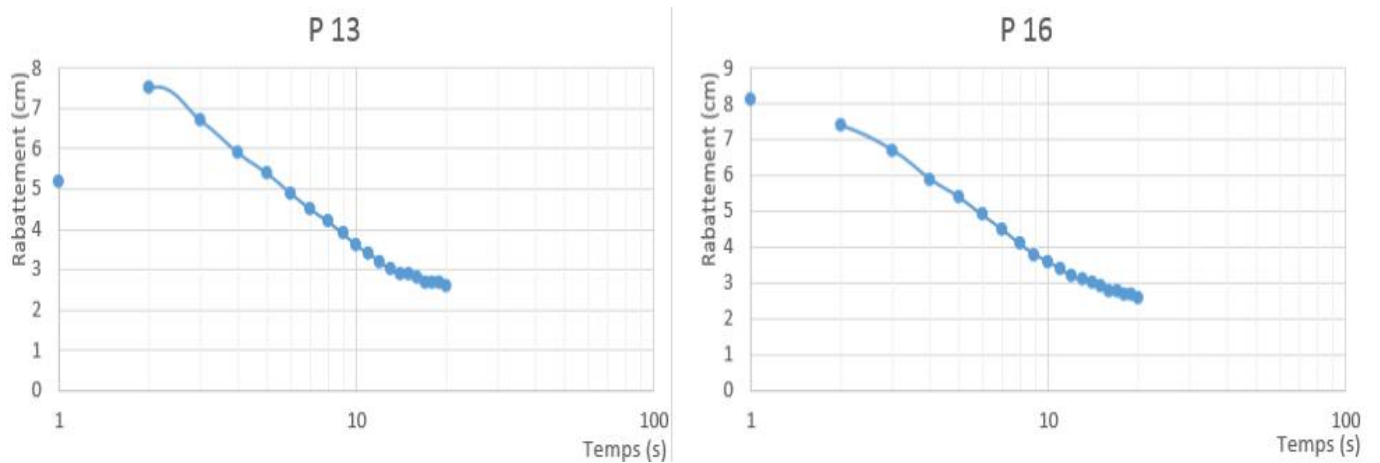


Fig.IV.97 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV.6.3.3 – Pompage d’essai aux puits A et B :

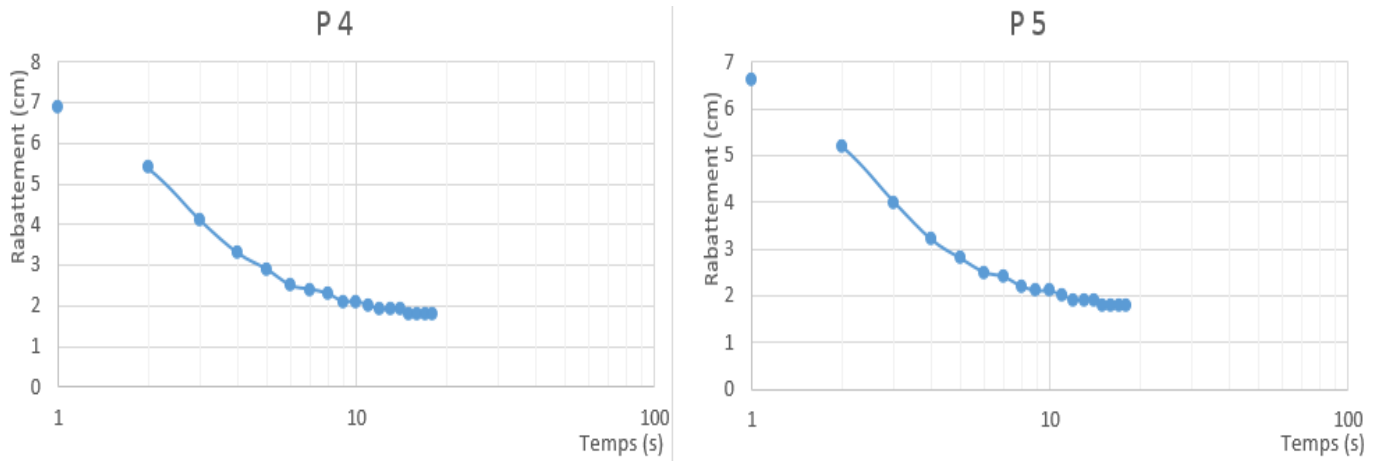


Fig.IV.98 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

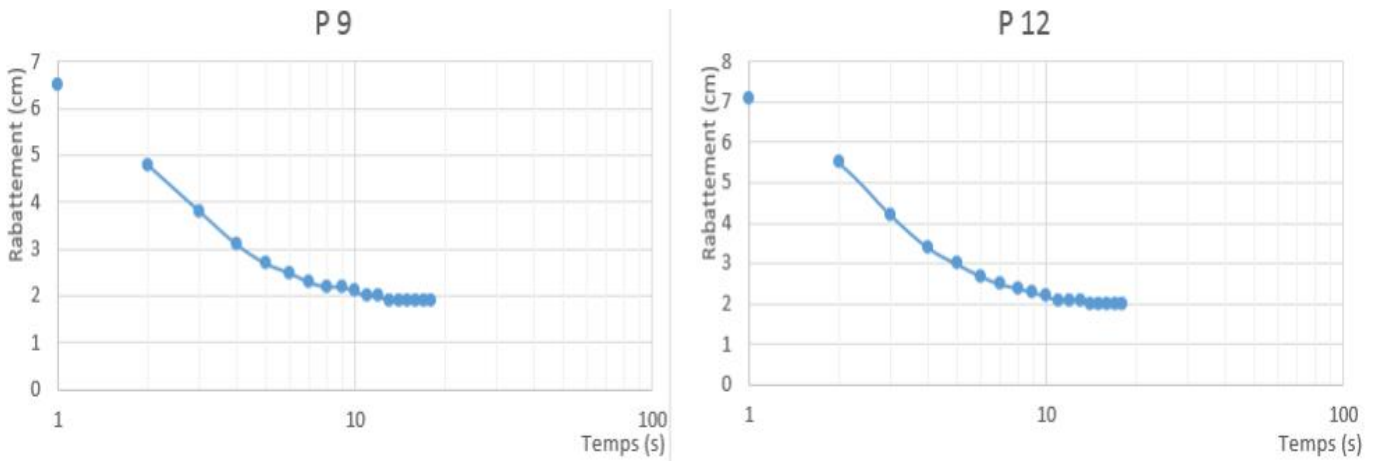


Fig.IV.99 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

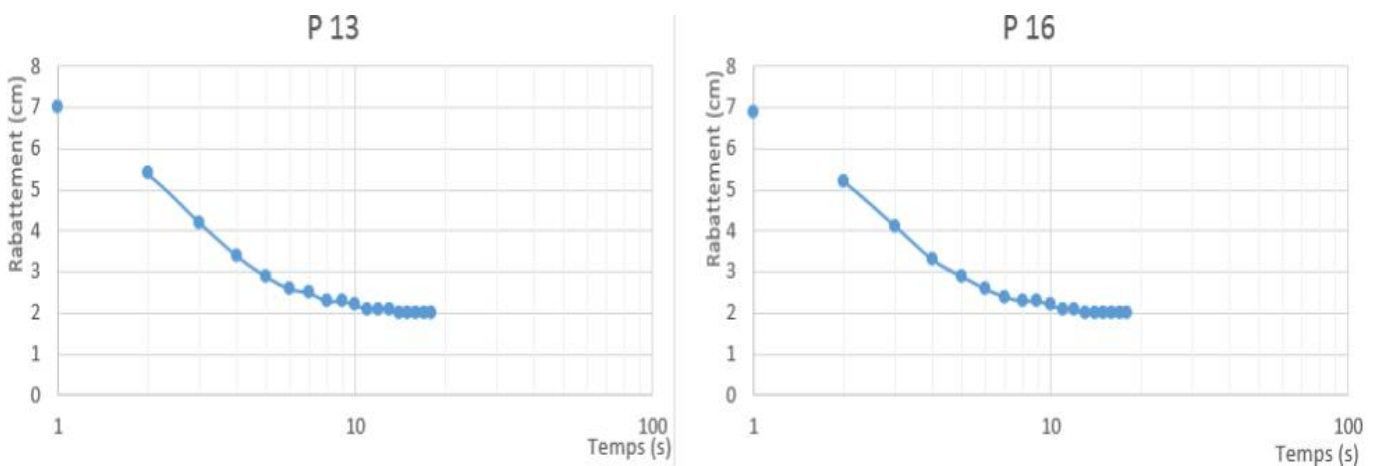


Fig.IV.100 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV. 6.4 - Mélange :

IV.6.4.1 – Pompage d’essai au puits A :

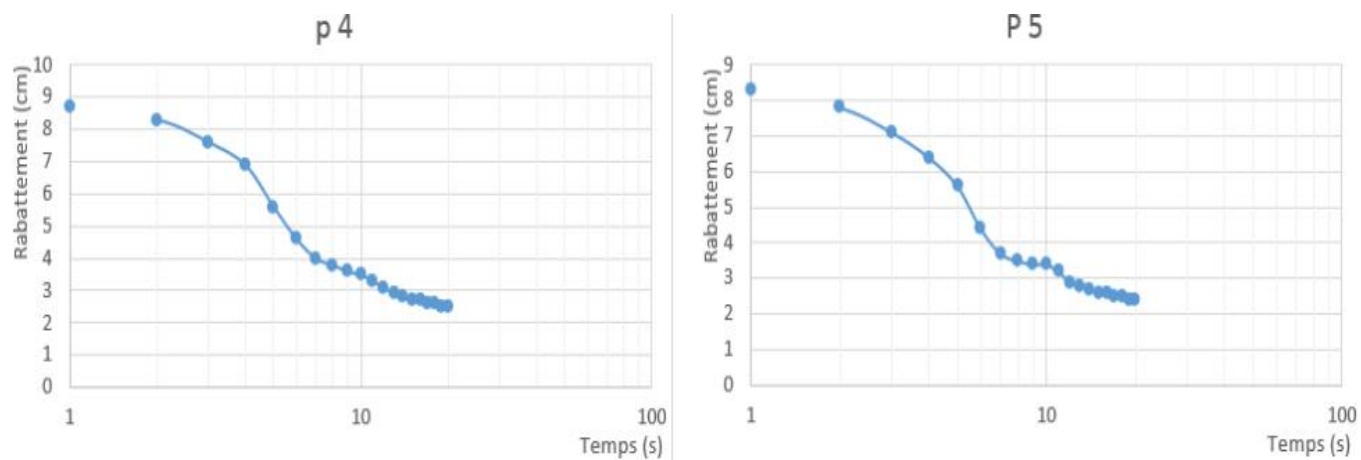


Fig.IV.101 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

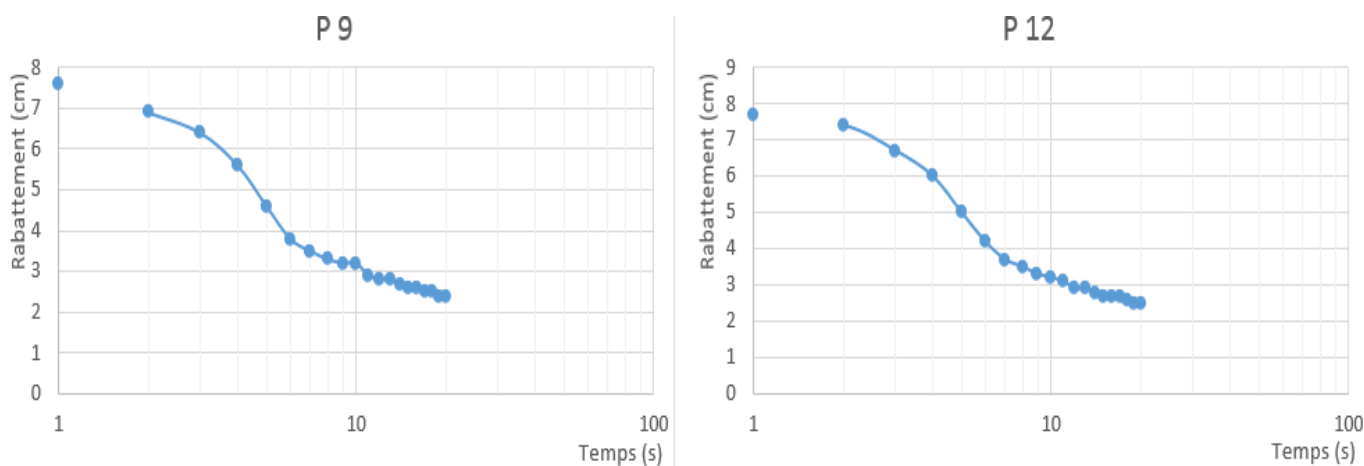


Fig.IV.102 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

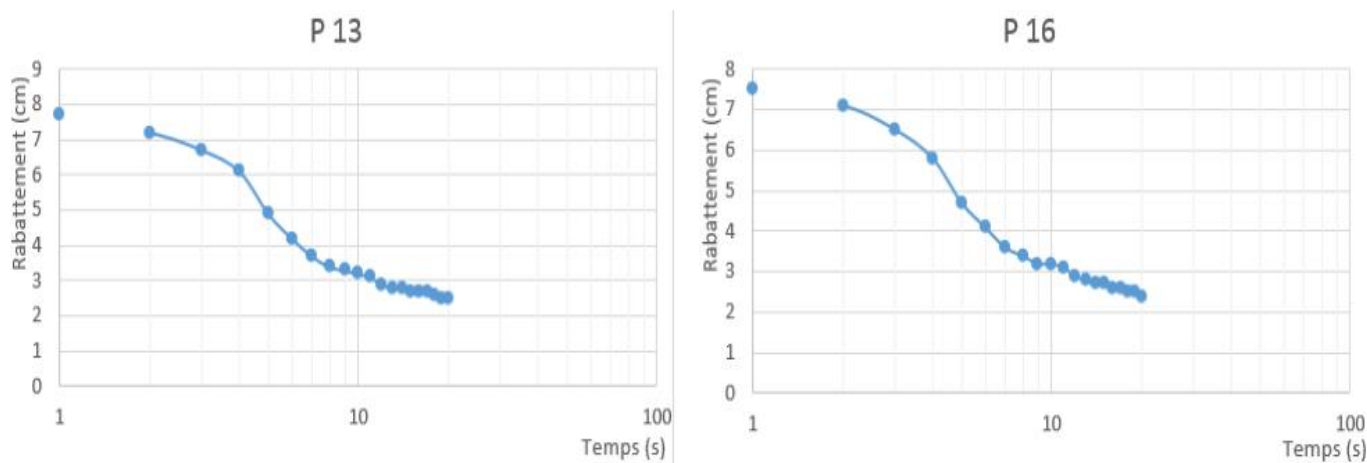


Fig.IV.103 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

IV.6.4.2 – Pompage d’essai au puits B :

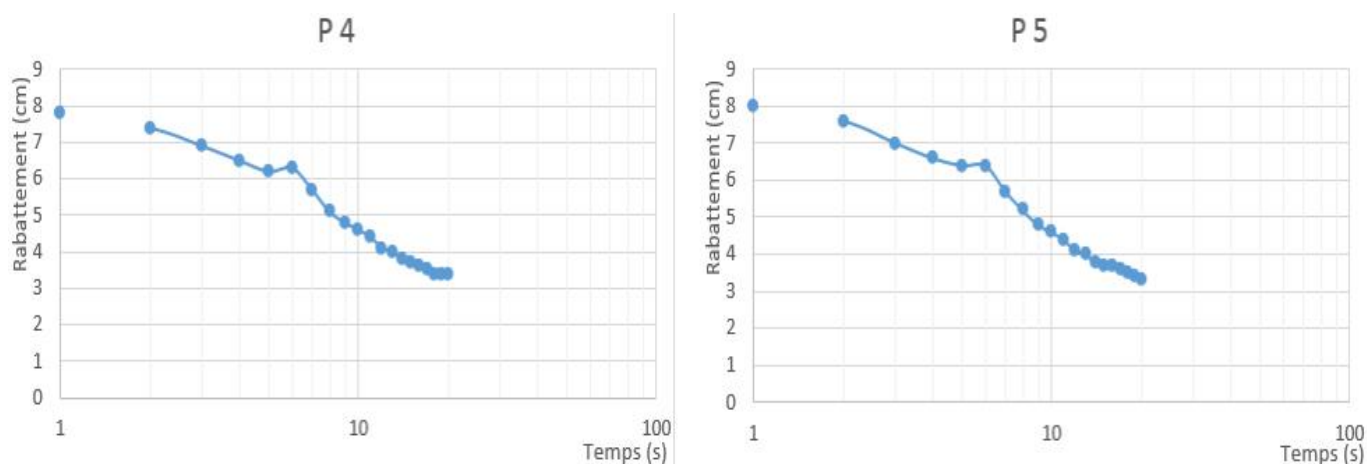


Fig.IV.104 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

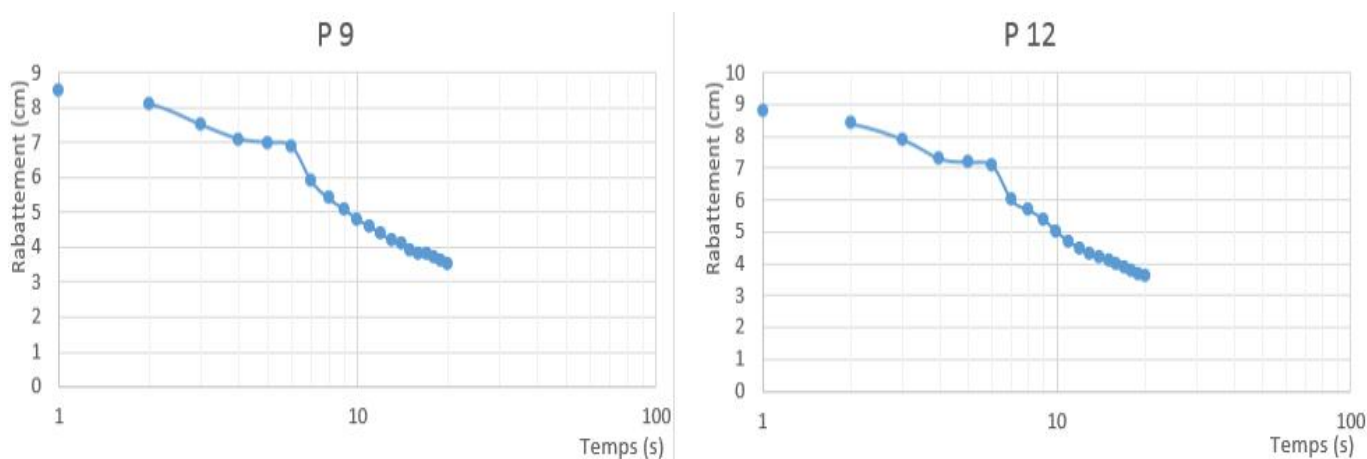


Fig.IV.105 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

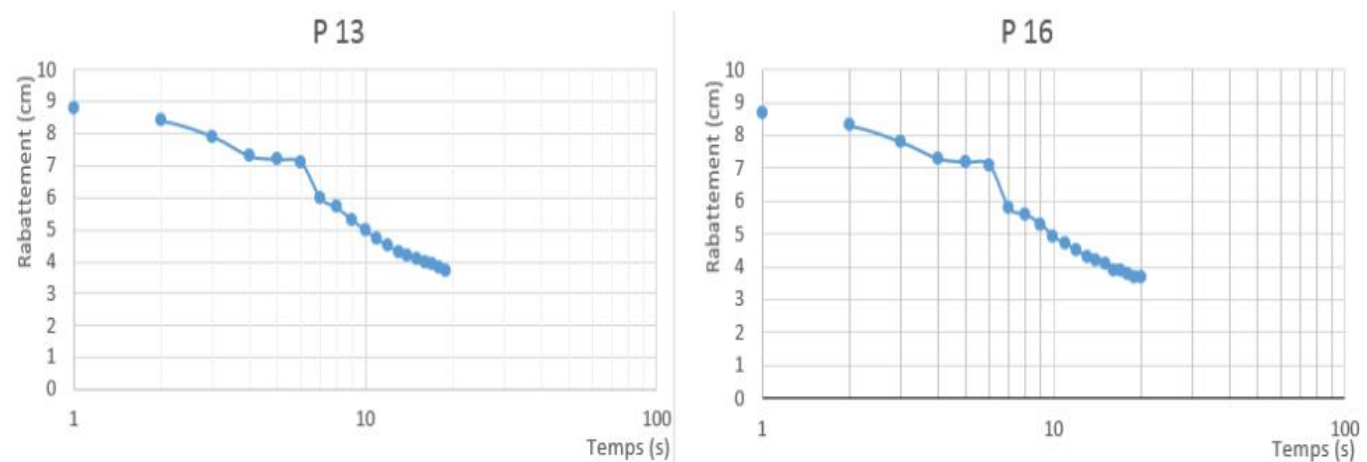


Fig.IV.106 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.



IV.6.4.3 – Pompage d’essai aux puits A et B :

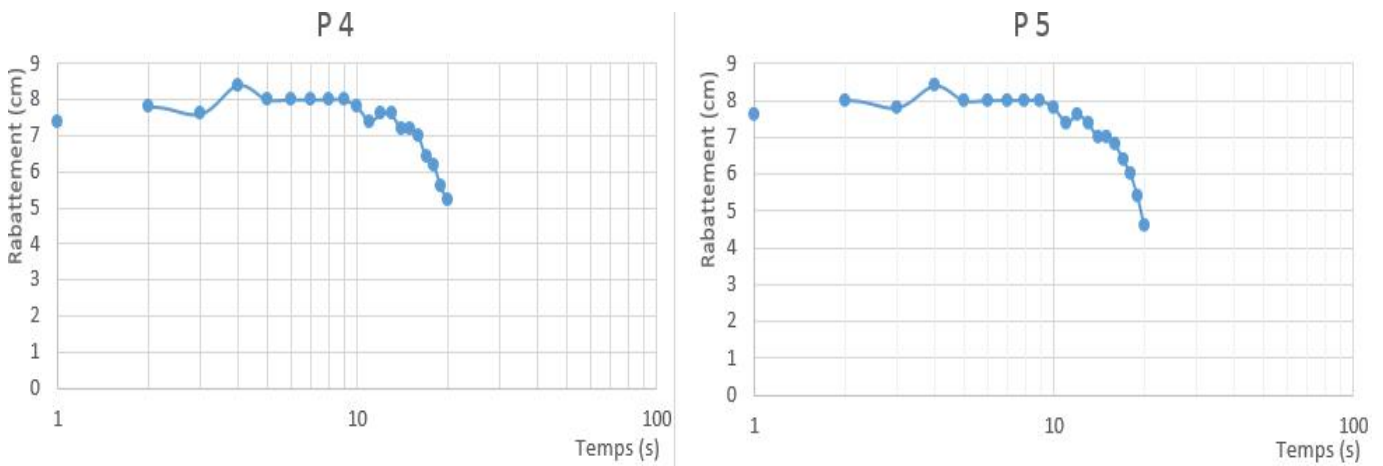


Fig.IV.107 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P4 et P5.

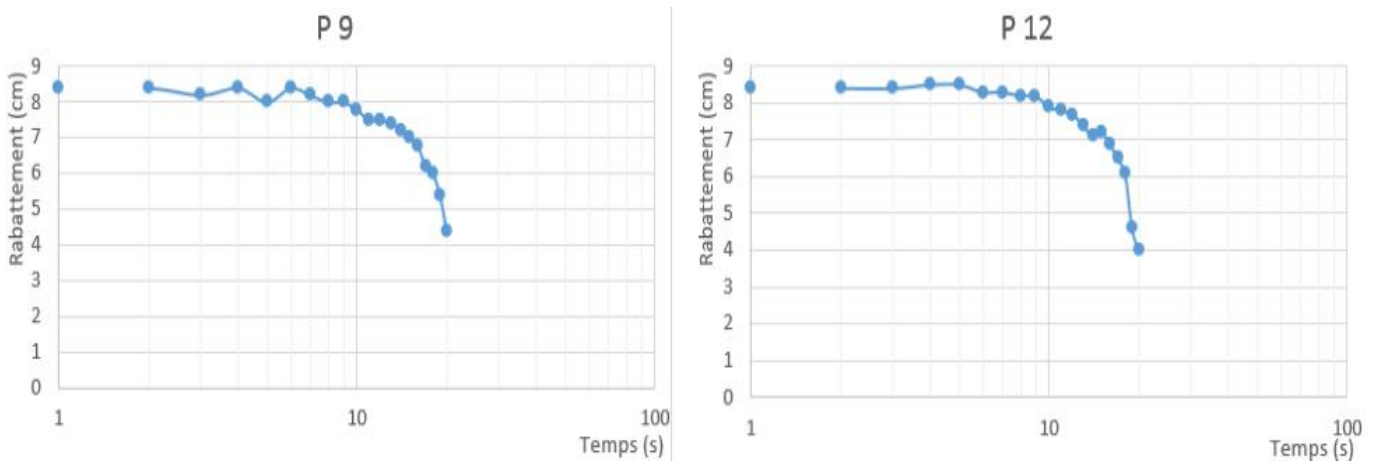


Fig.IV.108 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P9 et P12.

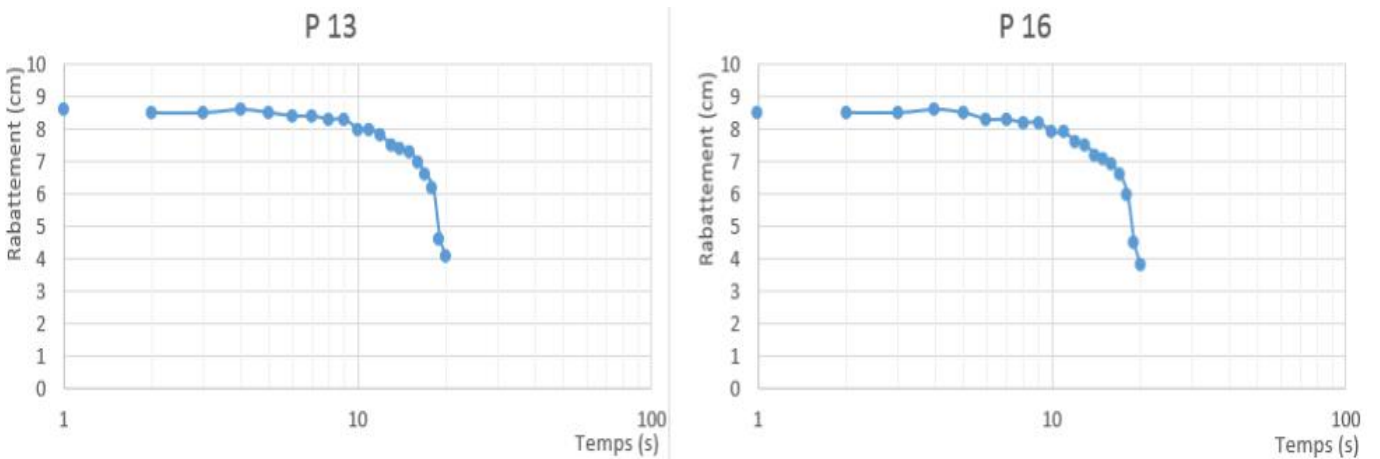


Fig.IV.109 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres P13 et P16.

### IV.6.5. Interprétation de l'essai de pompage

Pour l'interprétation du pompage d'essai, nous avons utilisé la méthode de THEIS et JACOB pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (la transmissivité « T » et le coefficient d'emmagasinement « S »).

$$T = 0.183 \cdot Q/c \quad , \quad S = 2,25 \cdot \frac{Tt_0}{r} \quad (12)$$

- T : Transmissivité (m<sup>2</sup>/s).
- Q : Débit de pompage (m<sup>3</sup>/s).
- c : Pente de la droite représentative.
- S : Coefficient d'emmagasinement.
- t<sub>0</sub> : Point d'intersection de la droite représentative avec le niveau piézométrique initial (s).
- r : Rayon du puits (m).

Les valeurs de la transmissivité et du coefficient d'emmagasinement sont illustrées dans le tableau. 34

**Calcul de la transmissivité T à partir du banc d'essai :**

$$T = e \cdot k \quad (13)$$

- T : Transmissivité (m<sup>2</sup>/s).
- K : Perméabilité (m/s).
- e : Epaisseur de la formation (m).

**Tableau.8 : Valeurs de la transmissivité T à partir du banc :**

	Sable	Gravier	Mélange
<b>K (m/s)</b>	5,76.10 <sup>-4</sup>	3,3524.10 <sup>-1</sup>	1,071.10 <sup>-2</sup>
<b>e (m)</b>	0,15	0,1	0,12
<b>T (m<sup>2</sup>/s)</b>	8,64.10 <sup>-5</sup>	3,35.10 <sup>-2</sup>	1,28.10 <sup>-3</sup>

Tableau.9 : Valeurs calculées de la transmissivité et le coefficient d’emménagement.

		Sable - gravier		Gravier - sable		Multicouches		Mélange	
Débit de pompage		Puits A: Q = 0,85L/s Puits B: Q = 0,01L/s		Puits A: Q = 0,06L/s Puits B: Q = 0,24L/s		Puits A: Q = 0,04L/s Puits B: Q = 0,06L/s		Puits A: Q = 0,05L/s Puits B: Q = 0,04L/s	
N° Piézomètre		T (m <sup>2</sup> /s)	S	T (m <sup>2</sup> /s)	S	T (m <sup>2</sup> /s)	S	T (m <sup>2</sup> /s)	S
Puits de pompage A	P9	3,05.10 <sup>-4</sup>	1,18.10 <sup>-3</sup>	3,6.10 <sup>-4</sup>	6,4.10 <sup>-4</sup>	3,78.10 <sup>-4</sup>	7,48.10 <sup>-4</sup>	4,1.10 <sup>-5</sup>	7.10 <sup>-6</sup>
	P12	3,05.10 <sup>-4</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	5,4.10 <sup>-4</sup>	9,7.10 <sup>-4</sup>	2,74.10 <sup>-4</sup>	4,93.10 <sup>-4</sup>	5,4.10 <sup>-5</sup>	1,2.10 <sup>-5</sup>
	P13	3,05.10 <sup>-4</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	4,7.10 <sup>-4</sup>	9,4.10 <sup>-4</sup>	2,49.10 <sup>-4</sup>	4,48.10 <sup>-4</sup>	/	/
	P16	3,05.10 <sup>-4</sup>	1,15.10 <sup>-3</sup>	1,4.10 <sup>-3</sup>	3,15.10 <sup>-3</sup>	2,19.10 <sup>-4</sup>	3,54.10 <sup>-4</sup>	/	/
Puits de pompage B	P4	4,4.10 <sup>-3</sup>	1,58.10 <sup>-2</sup>	1,07.10 <sup>-2</sup>	3,85.10 <sup>-2</sup>	2,03.10 <sup>-4</sup>	3,65.10 <sup>-4</sup>	1,66.10 <sup>-4</sup>	2,9.10 <sup>-5</sup>
	P5	3,7.10 <sup>-3</sup>	1,49.10 <sup>-2</sup>	1,09.10 <sup>-2</sup>	3,95.10 <sup>-2</sup>	2,21.10 <sup>-4</sup>	7,95.10 <sup>-4</sup>	4,5.10 <sup>-5</sup>	4.10 <sup>-6</sup>

*Conclusion générale*

### Conclusion générale

Le travail réalisé a été entrevue pour la détermination des paramètres hydrodynamiques d'un milieu poreux (la perméabilité "K", la transmissivité "T" et le coefficient d'emmagasinement "S") en effectuant des essais d'analyse granulométrique au laboratoire de Génie Civil sur le gravier, le sable et un mélange constitué de 45 % sable, 45 % gravier et 10 % d'une argile gréseuse. La détermination de la perméabilité a été établie à partir des résultats des courbes granulométriques des formations. Ces dernières ont des coefficients de perméabilité respectivement de  $3,35 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$ ,  $5,76 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  et  $1,071 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ .

Nous avons calculé aussi la perméabilité à l'aide d'un perméamètre à charge constante, les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau n°6.

L'expérience faite au laboratoire d'Hydraulique sur le banc d'essai d'hydrologie nous a facilité la compréhension des phénomènes d'écoulement et les comportements hydrodynamiques des eaux souterraines appliquées sur deux milieux différents homogène et hétérogène pour un régime permanent.

D'autre part, les essais effectués sur les différents matériaux utilisés dans ces expériences nous ont permis de déduire que le pompage au niveau du sable dure plus longtemps qu'au niveau du gravier avec une disparition rapide du cône de dépression dans le cas de la formation multicouches ceci montre que l'eau passe à travers les formations les plus perméables vers les moins perméables pour une filtration optimisée.

En régime permanent, l'écoulement des eaux se fait principalement selon l'axe de drainage de l'amont vers l'aval du banc d'essai hydrologique, l'utilisation de l'argile-gréseuse dans la formation multicouches a pour but de ralentir la vitesse d'écoulement à son niveau.

En outre, les essais effectués sur les formations permettent d'analyser de façon quantitative les propriétés hydrauliques telles que le coefficient d'emmagasinement (S) et la transmissivité (T). Les résultats obtenus confirment que le gravier ( $T = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ ) peut transmettre l'eau plus que le sable ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ ) par contre ce dernier peut emmagasiner l'eau plus que le gravier, les coefficients d'emmagasinement sont respectivement  $1,53 \cdot 10^{-2}$  et  $6,45 \cdot 10^{-4}$ .

Pour conclure, le gravier peut être utilisé comme un bon filtre dans les stations de traitement et d'épuration pour les éléments grossiers, alors que le sable est le meilleur filtre pour les éléments fins.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- BEAR J. 1972.** Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier, New York, p.764.
- BESSEDIK M. 1995.** Essai de modélisation d'une nappe, application à la nappe d'Hennaya et sur banc d'essai. Mem. Ing. Univ. Tlemcen, 65p.
- BOUANANI R. & BOUREK R. 2007.** Etude des écoulements dans un milieu poreux sur un banc d'essai au laboratoire. Mem. Ing. Univ Tlemcen. 149p.
- BOUGOUL S. & SOUDANI A. & JAFFRIN A.** Etude d'un écoulement dans un milieu poreux saturé utilisé en Substrat de Culture.
- CASTANY G. 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Ed. Dunod Paris, 235p.
- GHOMARI F. & BENDI-OUIS A. 2007.** Science des matériaux de construction. Cours en ligne. Univ Tlemcen.
- KAZI TANI H.A. 2013.** Etude du transport en suspension dans un milieu poreux au laboratoire. Mem Magistère. Univ Tlemcen. 188p.
- YEDEDRI L. 2008.** Etude du comportement de quelques traceurs en hydrogéologie sur banc d'essai au laboratoire. Mem Magistère. Univ Tlemcen. 154p.

## Liste des figures



## **LISTE DES FIGURES**

### **❖ Chapitre I : Présentation du banc d'essai**

- Fig.I.1 : Représentation du banc d'essai hydrologique.....2
- Fig.I.2 : Localisation des puits et des piézomètres .....4

### **❖ Chapitre II : Les concepts fondamentaux**

- Fig.II.1 : Présentation des différentes nappes (Castany ; 1982).....5
- Fig.II.2: Différents types d'eau (Castany ; 1982).....6
- Fig.II.3: Différents types d'aquifères .....7
- Fig.II.4: Relation entre la perméabilité et la porosité..... 11
- Fig.II.5: Application de la loi de Darcy. (Castany ; 1982) .....12
- Fig.II.6: Calcul du gradient hydraulique (Castany ; 1982) .....14
- Fig.II.7: Exemple d'un trace d'une carte piézométrique (Castany ; 1982)..... 15
- Fig.II.8: Schéma représentatif d'un pompage .....16

### **❖ Chapitre III : Etude des propriétés du milieu poreux**

- Fig.III.1 : Tamiseuse .....19
- Fig.III.2: La balance .....20
- Fig.III.3: Colonne de tamis .....21
- Fig.III.4: Courbe granulométrique du sable utilisé .....23
- Fig.III.5: Courbe granulométrique du gravier grossier utilisé .....25
- Fig.III.6: Courbe granulométrique du gravier grossier utilisé .....27
- Fig.III.7: Courbe granulométrique du mélange utilisé.....29
- Fig.III.8: Perméamètre à charge constante.....30

### **❖ Chapitre IV : Etude expérimentale d'écoulement**

- Fig.IV.1: Disposition du matériau aquifère dans le banc (Sable-Gravier) .....35
- Fig.IV.2: Profil piézométrique avant et après l'ouverture de la décharge sans pompage (Formation sable – gravier) .....36
- Fig. IV.3: Carte piézométrique avant l'ouverture de la décharge. (Formation sable – gravier) .....37

- Fig.IV.4: Carte piézométrique après l'ouverture de la décharge (Formation sable – gravier) .....	37
- Fig.IV.5: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A avec décharge (Formation sable – gravier) .....	38
- Fig.IV.6: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits A et avec une décharge.(Formation sable – gravier) .....	39
- Fig.IV.7: Carte piézométrique de l'après pompage au puits A et avec une décharge. (Formation sable – gravier) .....	39
- Fig.IV.8 : Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B avec décharge.(Formation sable – gravier) .....	40
- Fig.IV.9: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits B et avec une décharge. (Formation sable – gravier) .....	41
- Fig.IV.10: Carte piézométrique de l'après pompage au puits B et avec une décharge.(Formation sable – gravier) .....	41
- Fig.IV.11: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B avec décharge.(Formation sable – gravier) .....	42
- Fig.IV.12: Carte piézométrique de l'avant pompage aux puits A et B et avec une décharge.(Formation sable – gravier) .....	43
- Fig.IV.13: Carte piézométrique de l'après pompage aux puits A et B avec une décharge.(Formation sable – gravier) .....	43
- Fig.IV.14: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge.(Formation sable – gravier) .....	44
- Fig.IV.15: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits A sans décharge (Formation sable – gravier) .....	45
- Fig.IV.16: Carte piézométrique de l'après pompage au puits A sans décharge(Formation sable – gravier) .....	45
- Fig.IV.17: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge (Formation sable – gravier) .....	46
- Fig.IV.18: Carte piézométrique de l'avant pompage au puits B sans décharge (Formation sable – gravier) .....	47
- Fig.IV.19: Carte piézométrique de l'après pompage au puits B sans décharge (Formation sable – gravier) .....	47
- Fig.IV.20: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B sans décharge.(Formation sable – gravier) .....	48
- Fig.IV.21: Carte piézométrique de l'avant pompage aux puits A et B sans décharge.(Formation sable – gravier) .....	49
- Fig.IV.22: Carte piézométrique de l'après pompage aux puits A et B sans décharge. (Formation sable – gravier) .....	49
- Fig.IV.23: Disposition du matériau aquifère dans le banc (Gravier-Sable) .....	50
- Fig.IV.24: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge. (Formation gravier – sable) .....	51
- Fig.IV.25: Carte piézométrique avant le pompage au puits A sans décharge. (Formation gravier – sable) .....	52

- Fig.IV.26: Carte piézométrique après le pompage au puits A sans décharge (Formation gravier – sable) .....	52
- Fig.IV.27: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge (Formation gravier – sable) .....	53
- Fig.IV.28: Carte piézométrique avant le pompage au puits B sans décharge (Formation gravier – sable) .....	54
- Fig.IV.29: Carte piézométrique après le pompage au puits B sans décharge (Formation gravier – sable) .....	54
- Fig.IV.30: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation gravier – sable) .....	55
- Fig.IV.31: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation gravier – sable) .....	56
- Fig.IV.32: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation gravier – sable) .....	56
- Fig.IV.33: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A avec décharge (Formation gravier – sable) .....	57
- Fig.IV.34: Carte piézométrique avant le pompage au puits A avec décharge (Formation gravier – sable) .....	58
- Fig.IV.35: Carte piézométrique après le pompage au puits A avec décharge. (Formation gravier – sable) .....	58
- Fig.IV.36: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B avec décharge. (Formation gravier – sable) .....	59
- Fig.IV.37: Carte piézométrique avant le pompage au puits B avec décharge (Formation gravier – sable) .....	60
- Fig.IV.38: Carte piézométrique après le pompage au puits B avec décharge (Formation gravier – sable) .....	60
- Fig.IV.39: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B avec décharge (Formation gravier – sable) .....	61
- Fig.IV.40: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B avec décharge (Formation gravier – sable) .....	62
- Fig.IV.41: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B avec décharge (Formation gravier – sable) .....	62
- Fig.IV.42: Disposition du matériau aquifère dans le banc (multicouche).....	63
- Fig.IV.43: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge. (Formation multicouche) .....	64
- Fig.IV.44: Carte piézométrique avant le pompage au puits A sans décharge (Formation multicouche) .....	65
- Fig.IV.45: Carte piézométrique après le pompage au puits A sans décharge (Formation multicouche) .....	65
- Fig.IV.46: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge (Formation multicouche) .....	66
- Fig.IV.47: Carte piézométrique avant le pompage au puits B sans décharge (La formation multicouche).....	66

- Fig.IV.48: Carte piézométrique après le pompage au puits B sans décharge (Formation multicouche) .....	67
- Fig.IV.49: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation multicouche) .....	68
- Fig.IV.50: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation multicouche) .....	69
- Fig.IV.51: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation multicouche) .....	69
- Fig.IV.52: Profil piézométrique avant et après l'ouverture de la décharge (Formation multicouche) .....	70
- Fig.IV.53: Carte piézométrique avant l'ouverture de la décharge (Formation multicouche) .....	71
- Fig.IV.54: Carte piézométrique après l'ouverture de la décharge (Formation multicouche) .....	71
- Fig.IV.55: Profil piézométrique avant et après le pompage aux puits A et B avec décharge (Formation multicouche) .....	72
- Fig.IV.56: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B avec décharge (Formation multicouche) .....	73
- Fig.IV.57: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B avec décharge (Formation multicouche) .....	73
- Fig.IV.58: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A avec décharge (Formation multicouche) .....	74
- Fig.IV.59: Carte piézométrique avant le pompage au puits A avec décharge (Formation multicouche) .....	75
- Fig.IV.60: Carte piézométrique après le pompage au puits A avec décharge (Formation multicouche) .....	75
- Fig.IV.61: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B avec décharge (Formation multicouche) .....	76
- Fig.IV.62: Carte piézométrique avant le pompage au puits B avec décharge (Formation multicouche) .....	77
- Fig.IV.63: Carte piézométrique après le pompage au puits B avec décharge (Formation multicouche) .....	77
- Fig.IV.64: Représentation de la formation mélange .....	78
- Fig.IV.65: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits A sans décharge (La formation mélange) .....	79
- Fig.IV.66: Carte piézométrique avant le pompage au puits A sans décharge (Formation mélange).....	80
- Fig.IV.67: Carte piézométrique après le pompage au puits A sans décharge (Formation mélange).....	80
- Fig.IV.68: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge (Formation mélange).....	81
- Fig.IV.69: Carte piézométrique avant le pompage au puits B sans décharge (Formation mélange).....	82

- Fig.IV.70: Carte piézométrique après le pompage au puits B sans décharge (Formation mélange).....	82
- Fig.IV.71: Profil piézométrique avant et après le pompage au puits B sans décharge (Formation mélange).....	83
- Fig.IV.72: Carte piézométrique avant le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation mélange).....	84
- Fig.IV.73: Carte piézométrique après le pompage aux puits A et B sans décharge (Formation mélange).....	84
- Fig.IV.74 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5.....	86
- Fig.IV.75 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P13.....	86
- Fig.IV.76 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P12 et P16.....	86
- Fig. IV.77 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5.....	87
- Fig.IV.78 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P12 et P13.....	87
- Fig. IV.79 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P16.....	87
- Fig.IV.80 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5.....	88
- Fig.IV.81 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12.....	88
- Fig.IV.82 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16.....	88
- Fig.IV.83 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5.....	89
- Fig.IV.84 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12.....	89
- Fig.IV.85 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16.....	89
- Fig.IV.86 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5.....	90
- Fig.IV.87 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12.....	90
- Fig.IV.88 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16.....	90
- Fig.IV.89 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5.....	91
- Fig.IV.90 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12.....	91

- Fig.IV.91 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	91
- Fig.IV.92 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5 .....	92
- Fig.IV.93 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12 .....	92
- Fig.IV.94 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	92
- Fig.IV.95 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5 .....	93
- Fig.IV.96 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12 .....	93
- Fig.IV.97 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	93
- Fig.IV.98 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5 .....	94
- Fig.IV.99 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12 .....	94
- Fig.IV.100 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	94
- Fig.IV.101 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5 .....	95
- Fig.IV.102 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12 .....	95
- Fig.IV.103 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	95
- Fig.IV.104 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5 .....	96
- Fig.IV.105 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12 .....	96
- Fig.IV.106 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	96
- Fig.IV.107 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P4 et P5 .....	97
- Fig.IV.108 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P9 et P12 .....	97
- Fig.IV.109 : Courbes représentatives des rabattements des piézomètres observés P13 et P16 .....	97

# Liste des tableaux

## **LISTE DES TABLEAUX**

- Tableau.1 : Résultats de la granulométrie du sable .....	22
- Tableau.2 : Résultats de la granulométrie du gravier grossier .....	24
- Tableau.3 : Résultats de la granulométrie du gravier utilisé .....	26
- Tableau.4 : Résultats de la granulométrie du mélange.....	28
- Tableau.5: Valeurs de la perméabilité à partir de la formule de Hazen.....	31
- Tableau.6 : Valeurs de la perméabilité à partir du perméamètre.....	31
- Tableau.7 : Valeurs de la perméabilité des différentes formations.....	32
- Tableau.8 : Valeurs de la transmissivité T à partir du banc .....	98
- Tableau.9 : Valeurs calculées de la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement .....	99



# Annexes

## I. Annexe des tableaux :

Les résultats de l'essai de la décharge sans pompage de la formation Sable – gravier (débit de la décharge  $Q = 0,1L/s$ ).

Piézomètres Temps (min)	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
0	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
1	6.4	7.2	7.4	7.6	7.6	7.6	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	8	8	8	8	8	8
2	5.4	6.24	7.2	7.6	7.6	7.6	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	8	8	8	8	8	8
3	4.6	5.6	6.2	7	7.2	7.6	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	8	8	8	8	8	8
4	4	5.2	5.8	6.6	7.1	7.5	7.8	7.8	8	7.9	8	8	8	8	8	8	8	8	8
5	3.6	4.8	5.4	6.4	7	7.4	7.8	7.8	8	7.9	8	8	8	7.9	8	8	8	8	8
6	3.2	4.6	5.2	6.3	6.9	7.4	7.8	7.8	7.8	7.9	8	8	8	7.9	8	8	8	8	8
7	3.2	4.6	5.2	6.2	6.8	7.4	7.8	7.8	7.8	7.9	8	8	8	7.9	8	8	8	8	8
8	3.2	4.6	5.2	6.2	6.8	7.4	7.8	7.8	7.8	7.9	8	8	8	7.9	8	8	8	8	8
9	3.2	4.6	5.2	6.2	6.8	7.4	7.8	7.8	7.8	7.9	8	8	8	7.9	8	8	8	8	8
10	3.2	4.6	5.2	6.2	6.8	7.4	7.8	7.8	7.8	7.9	8	8	8	7.9	8	8	8	8	8
11	3.2	4.6	5.2	6.2	6.8	7.4	7.8	7.8	7.8	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
12	3.2	4.6	5.1	6.1	6.8	7.3	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
13	3.2	4.6	5.1	6.1	6.8	7.3	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
14	3.4	4.9	5.4	6.5	6.9	7.3	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
15	3.2	4.6	5.2	6.2	6.8	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
16	3.2	4.6	5.1	6.2	6.8	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
17	3.2	4.6	5.1	6.2	6.8	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
18	3.2	4.6	5.1	6.2	6.8	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
19	3.2	4.6	5.1	6.2	6.8	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9
20	3.2	4.6	5.1	6.2	6.8	7.2	7.7	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	7.9	8	8	8	7.9	7.9	7.9

Les niveaux piézométriques

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits A avec décharge de la formation sable – gravier.**

**(Débit de la décharge Q = 0,1L/s, débit de pompage au puits A : Q = 0,11L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
<b>1</b>	7.2	8	8	8	7.8	7.6	7.3	7.2	7.4	7.7	7.7	7.7	7.7	7.8	7.6	7.7	7.7	7.7	7.7
<b>2</b>	6	6.6	6.6	7	6.8	6.8	6.6	6.6	6.6	7.1	7.1	7	7.1	7.1	6.9	6.9	7	7	7
<b>3</b>	4.4	5	5.2	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8	5.8	6.3	6.2	6.1	6.2	6.2	6	6.1	6	6.1	6.1
<b>4</b>	3.6	4.2	4.4	4.8	5	5	5	5	5	5.5	5.5	5.4	5.4	5.5	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4
<b>5</b>	3	3.6	3.8	4.2	4.4	4.6	4.6	4.6	4.6	5	4.9	4.9	4.9	5	4.8	4.9	4.9	4.9	5
<b>6</b>	2.4	3	3.2	3.7	3.9	4.1	4.2	4.2	4.2	4.6	4.5	4.5	4.5	4.6	4.4	4.6	4.5	4.5	4.5
<b>7</b>	2.2	2.7	3	3.4	3.6	3.8	3.8	3.8	3.8	4.3	4.2	4.3	4.2	4.3	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3
<b>8</b>	2	2.6	2.8	3.1	3.2	3.5	3.6	3.6	3.6	3.9	3.9	3.9	4	4	3.8	3.9	3.9	4	4
<b>9</b>	2.4	3.4	3.8	4	3.6	3.4	3.3	3.3	3.4	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8
<b>10</b>	2.2	2.8	3.2	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6
<b>11</b>	2	2.4	2.6	2.8	2.8	3	3	3	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4
<b>12</b>	1.8	2.2	2.4	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3	3.1	3.1	3.2	3.2
<b>13</b>	1.7	2	2.1	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	3	2.8	2.9	2.9	3	3.1
<b>14</b>	1.6	1.9	2	2.2	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9
<b>15</b>	1.6	1.8	2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8
<b>16</b>	1.5	1.8	1.8	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7
<b>17</b>	1.5	1.8	1.7	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6
<b>18</b>	1.5	1.7	1.7	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
<b>19</b>	1.5	1.7	1.7	1.9	2	2	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
<b>20</b>	1.5	1.6	1.6	1.8	1.9	2	2	2	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits B avec décharge de la formation sable – gravier.**

**(Débit de la décharge Q = 0,1L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,09L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>Temps (min)</b>																			
<b>0</b>	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
<b>1</b>	8.7	7.8	6.2	6	7.4	7.8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>2</b>	8.6	7.4	5.8	5.8	7	7.8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>3</b>	7.4	6.4	5	5.4	6.8	7.6	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>4</b>	6	5.2	4.2	5	6.4	7.6	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>5</b>	5.4	4.8	4	4.8	6.4	7.6	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>6</b>	5	4.4	3.8	4.8	6.4	7.6	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>7</b>	4.4	4.2	3.6	4.8	6.3	7.5	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>8</b>	4	4	3.4	4.6	6.2	7.5	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>9</b>	3.8	3.8	3.4	4.6	6.2	7.5	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>10</b>	3.4	3.6	3.2	4.6	6.2	7.4	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>11</b>	3.1	3.4	3.2	4.5	6.1	7.4	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>12</b>	2.8	3.3	3.1	4.5	6	7.4	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>13</b>	2.7	3.2	3	4.4	6	7.3	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>14</b>	2.5	3.1	3	4.4	6	7.3	8	8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>15</b>	2.4	3	3	4.4	6	7.2	7.9	7.9	7.9	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>16</b>	2.4	3	3	4.4	6	7.2	7.9	7.9	7.9	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>17</b>	2.4	3	3	4.4	6	7.2	7.9	7.9	7.9	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>18</b>	2.4	3	3	4.4	6	7.2	7.9	7.9	7.9	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>19</b>	2.4	3	3	4.4	6	7.2	7.8	7.8	7.8	8	8.1	8.1	8.1	8.1	8	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>20</b>	2.4	3	3	4.4	6	7.2	7.8	7.8	7.8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B avec décharge de la formation sable – gravier.**

**(Débit de la décharge Q = 0,1L/s, débit de pompage au puits A : Q = 0,11L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,09L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>Temps (min)</b>																			
<b>0</b>	8.8	8.7	8.6	8.5	8.4	8.3	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
<b>1</b>	8.8	8.2	6.4	6.2	7.6	8.3	8.4	8.4	8.4	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
<b>2</b>	8.8	7.6	6	5.8	7.2	8	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
<b>3</b>	7	6.4	5	5.3	6.6	7.4	7.8	7.8	7.8	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
<b>4</b>	5.4	4.6	3.8	4.6	5.8	6.8	7.2	7.2	7.4	7.7	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7
<b>5</b>	4.6	4.2	3.2	4.2	5.2	6.2	6.4	6.4	6.6	7.6	7	6.9	7	7	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9
<b>6</b>	4	3.6	2.8	3.8	4.6	5.4	5.6	5.6	5.8	6.2	6.1	6	6	6.1	6	6	5.9	6	6
<b>7</b>	3.4	3.2	2.6	3.4	4.2	4.8	5	5	5.2	5.5	5.3	5.3	5.3	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
<b>8</b>	2.8	2.8	2.4	3	3.7	4.2	4.5	4.5	4.6	4.9	4.8	4.8	4.8	4.9	5.9	4.9	4.9	4.9	4.9
<b>9</b>	2.4	2.5	2.1	2.8	3.4	4	4.2	4.2	4.2	4.5	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
<b>10</b>	2	2.2	2	2.6	3.2	3.6	3.8	3.8	4	4.2	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.2	4.2
<b>11</b>	1.8	2	1.8	2.5	3	3.4	3.6	3.6	3.7	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
<b>12</b>	1.7	2	1.8	2.4	2.8	3	3.2	3.2	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7
<b>13</b>	1.6	1.8	1.8	2.2	2.6	3	3.1	3.1	3.2	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
<b>14</b>	1.6	1.8	1.8	2.2	2.4	2.8	3	3	3	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3
<b>15</b>	1.6	1.8	1.7	2	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3	3.1	3.1
<b>16</b>	1.6	1.7	1.7	2	2.2	2.5	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3
<b>17</b>	1.5	1.7	1.6	2	2.2	2.4	2.5	2.5	2.5	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
<b>18</b>	1.5	1.6	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4	2.4	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
<b>19</b>	1.4	1.6	1.6	1.8	2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6
<b>20</b>	1.4	1.6	1.6	1.8	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits A sans décharge de la formation sable – gravier.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0.085L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>Temps (min)</b>																			
<b>0</b>	9.9	9.8	9.7	9.6	9.4	9.2	9	8.9	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>1</b>	9.8	9.8	9.8	9.6	9.4	9.2	8.8	8.8	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>2</b>	9.8	9.8	9.8	9.6	9.4	8.8	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>3</b>	9.8	9.8	9.8	9.4	9	8.6	8.2	8.2	8.2	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>4</b>	9.7	9.7	9.7	9.2	8.8	8.2	7.2	7.2	7.2	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>5</b>	9.6	9.6	9.6	9	8.6	7.8	70.2	70.2	70.2	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.6	7.8	7.8	7.8	7.8
<b>6</b>	9.6	9.6	9.6	9	8.2	7.4	6.8	6.7	6.7	7.3	7.2	7.1	7.1	7.2	7	7.1	7.1	7.2	7.2
<b>7</b>	9.6	9.6	9.4	8.6	7.8	6.6	5.8	5.8	5.8	6.5	6.4	6.3	6.3	6.4	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3
<b>8</b>	9.6	9.6	9.2	8.2	7.2	6	5.2	5.2	5.2	5.7	5.7	5.6	5.7	5.7	5.5	5.6	5.5	5.6	5.6
<b>9</b>	9.4	9.2	9	8	6.8	5.6	4.8	4.8	4.8	5.1	5.1	5	5.1	5.1	5	5	5	5	5.1
<b>10</b>	9.4	9	8.6	7.6	6.2	5	4.2	4.2	4.2	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.5	4.7	4.7	4.7	4.8
<b>11</b>	9.2	8.8	8.4	7.2	6	4.8	4	4	4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.4	4.2	4.4	4.4	4.4	4.4
<b>12</b>	9.2	8.6	8.2	7	5.8	4.6	3.8	3.8	3.8	4.1	4.1	4	4	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4.1
<b>13</b>	9	8.2	7.8	6.4	5.2	4	3.4	3.4	3.4	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.7	3.9	3.9	3.9	4
<b>14</b>	8	6.8	6.2	5.2	4.4	3.8	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.5	3.6	3.7	3.7	3.8
<b>15</b>	7.8	6.6	6	5	4.2	3.6	3.2	3.2	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.5	3.3	3.4	3.5	3.5	3.5
<b>16</b>	7.8	6.4	5.8	4.8	4.1	3.4	3	3	3	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4
<b>17</b>	7.4	6.2	5.6	4.6	4	3.2	2.8	2.8	2.8	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3	3.1	3.1	3.2	3.2
<b>18</b>	7.3	6	5.4	4.4	3.8	3.1	2.7	2.7	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	3	2.8	3	3	3	3
<b>19</b>	7.2	6	5.3	4.3	3.7	3	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9
<b>20</b>	7	5.8	5.2	4.2	3.6	2.8	2.5	2.5	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits B sans décharge la formation sable – gravier.**

**(Débit de pompage au puits B : Q = 0,01L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>Temps (min)</b>																			
<b>0</b>	9.9	9.8	9.7	9.6	9.4	9.2	9	8.9	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>1</b>	9.8	9.2	7.6	7	8.2	8.4	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>2</b>	9.6	9	7.2	6.8	8	8.4	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>3</b>	9.6	8.6	6.8	6.6	7.8	8.4	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>4</b>	9.4	8.2	6.4	6.4	7.8	8.4	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>5</b>	9.2	8	6.4	6.3	7.6	8.2	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>6</b>	9	7.8	6.2	6.2	7.4	8.2	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>7</b>	9	7.6	6	6	7.4	8.2	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>8</b>	8.6	7	5.4	5.6	7.2	8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>9</b>	8.2	6.6	5	5.4	7	8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>10</b>	8	6.4	5	5.4	7	8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>11</b>	7.8	6.3	5	5.4	7	8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>12</b>	7.8	6.2	4.8	5.4	7	8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>13</b>	7.6	6.1	4.8	5.3	6.9	7.9	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>14</b>	7.6	6	4.8	5.3	6.9	7.9	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>15</b>	7.4	6	4.8	5.2	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>16</b>	7.4	6	4.6	5.2	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>17</b>	7.3	5.9	4.6	5.2	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>18</b>	7.2	5.9	4.6	5.2	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>19</b>	7.2	5.9	4.6	5.2	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>20</b>	7.1	5.8	4.6	5.2	6.8	7.8	8.4	8.4	8.4	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge la formation sable – gravier.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0.085L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,01L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>Temps (min)</b>																			
<b>0</b>	9.9	9.8	9.7	9.6	9.4	9.2	9	8.9	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>1</b>	9.2	8	6.4	6.4	7.9	8.6	8.9	8.9	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>2</b>	9	7.8	6.2	6.2	7.4	8.2	8.6	8.6	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>3</b>	9	7.6	6	5.8	7.2	7.8	8.2	8.2	8.8	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>4</b>	8.6	7	5.5	5.4	6.4	7.4	7.6	7.6	7.6	8.3	8.3	8.2	8.2	8.2	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2
<b>5</b>	8.2	6.4	4.8	5	6.2	7	7.2	7.2	7.2	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8	7.8
<b>6</b>	7.6	5.8	4.6	4.6	5.6	6.3	6.4	6.4	6.4	7.1	7	6.9	7	7	6.7	6.8	6.8	6.9	6.9
<b>7</b>	7.2	5.6	4.2	4.2	5	5.4	5.6	5.6	5.6	6.2	6.1	6	6	6	5.7	5.9	5.8	5.8	5.8
<b>8</b>	7	5.2	4	3.8	4.5	4.9	5	5	5	5.4	5.4	5.3	5.3	5.3	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3
<b>9</b>	6.8	5	3.8	3.6	4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.9	4.9	4.8	4.8	4.8	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9
<b>10</b>	6.6	4.8	3.6	3.4	3.8	4	4.1	4.1	4.2	4.5	4.5	4.4	4.5	4.5	4.4	4.5	4.4	4.5	4.5
<b>11</b>	6.4	4.6	3.6	3.2	3.6	3.7	3.8	3.8	3.8	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4	4.1	4.1	4.2	4.2
<b>12</b>	6.2	4.6	3.4	3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.7	3.9	3.9	3.9	3.9
<b>13</b>	6	4.4	3.4	3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.5	3.7	3.6	3.7	3.7
<b>14</b>	5.9	4.3	3.2	2.8	3	3	3	3	3.1	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5
<b>15</b>	5.8	4.2	3.2	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3
<b>16</b>	5.6	4.1	3.1	2.7	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	3	3	3	3	3.1	2.9	3.1	3	3.1	3.1
<b>17</b>	5.5	4	3	2.6	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9	3	3
<b>18</b>	5.4	4	3	2.5	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9
<b>19</b>	5.3	3.9	3	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8
<b>20</b>	5.2	3.8	2.9	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7

**Les niveaux piézométriques**



**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits A sans décharge la formation gravier - sable.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0.065L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>Temps (min)</b>																			
<b>0</b>	8.5	9.4	9.6	10.5	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.6	10.7	10.7	10.8	10.8
<b>1</b>	8.4	9.6	9.6	9.6	9.6	9.4	9.2	9	9.3	9.6	9.5	9.4	9.6	9.7	9.3	9.6	9.6	9.8	9.8
<b>2</b>	8.3	9.2	9.1	9	9	8.8	8.6	8.4	8.8	9.1	9	8.9	9	8.2	8.9	9	9.1	9.3	9.3
<b>3</b>	8	8.4	8.3	8.2	8	8	7.8	7.6	7.8	8.3	8.1	8	8.2	8.3	7.9	8.1	8.2	9.3	8.3
<b>4</b>	7.5	7.3	7.2	7	7	7.9	6.7	6.5	6.7	7.2	7.1	7.1	4.1	7.2	6.8	7	4.1	8.3	7.2
<b>5</b>	6.4	6.2	6.1	6	5.9	5.8	5.7	5.5	5.7	6.2	6.1	6.1	6.2	6.2	5.9	6.1	6.1	7.2	6.2
<b>6</b>	5.5	5.3	5.2	5.1	5	4.9	4.8	4.6	4.8	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	4.9	5.1	5.1	6.2	5.2
<b>7</b>	4.7	4.6	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4	4.2	4.5	4.4	4.4	4.4	4.5	4.2	4.4	4.4	5.2	4.5
<b>8</b>	4	3.8	3.8	3.8	3.7	3.6	3.6	3.5	3.6	3.9	3.8	3.8	3.8	3.9	3.7	3.8	3.9	4.4	4
<b>9</b>	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.2	3.5	3.4	3.3	3.4	3.5	3.3	3.4	3.4	3.9	3.5
<b>10</b>	3.1	3.1	3	3	3	3	2.9	2.8	3	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.1	3.2	3.2	3.5	3.2
<b>11</b>	3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.9	3	2.9	2.9	3	3.1	2.9	3	3	3	3.1
<b>12</b>	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9
<b>13</b>	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9
<b>14</b>	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.6	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8
<b>15</b>	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7
<b>16</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6
<b>17</b>	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6
<b>18</b>	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>19</b>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5
<b>20</b>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits B sans décharge la formation gravier - sable.**

**(Débit de pompage au puits B : Q = 0,24L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	8.5	9.4	9.6	10.5	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.6	10.7	10.7	10.8	10.8
<b>1</b>	8.5	9.4	9.6	10.5	7.6	8.4	10.4	10.4	10.4	10.5	10.6	10.5	10.6	10.6	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6
<b>2</b>	5.4	4.6	5	3.8	4.6	4.6	4.8	5	5.2	5.9	5.7	5.9	5.7	5.6	5.7	6	6.1	6	6.9
<b>3</b>	2.2	1.8	1.4	1.6	2	2.2	2.4	2.6	2.8	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.2	3.4	3.4	3.5	3.7
<b>4</b>	2.2	2.2	2	2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.6	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9
<b>5</b>	2.3	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8
<b>6</b>	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8
<b>7</b>	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>8</b>	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>9</b>	2.1	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
<b>10</b>	2.1	2.1	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
<b>11</b>	2.1	2.1	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
<b>12</b>	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
<b>13</b>	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
<b>14</b>	2	2	1.9	2	2	2	2	2	2.1	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
<b>15</b>	2	2	1.8	2	2	2	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3
<b>16</b>	1.9	2	1.8	2	2	2	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>17</b>	1.9	1.9	1.8	1.9	2	2	2	2	2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>18</b>	1.9	1.9	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>19</b>	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>20</b>	1.8	1.8	1.8	1.9	20	1.9	1.9	1.9	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge la formation gravier - sable.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0,065L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,24L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	8.5	9.4	9.6	10.5	10.5	10.6	10.6	10.6	10.6	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.6	10.7	10.7	10.8	10.8
<b>5</b>	10	9.2	8.4	8.4	8.8	9	9.2	9.3	9.8	9.7	9.6	9.7	10	10.2	9.8	10.3	10.5	10.8	11.2
<b>10</b>	9.6	8.8	8.2	8.2	8.8	9	9	9.2	9.6	9.6	9.5	9.6	9.8	10	9.7	10.1	10.4	10.8	11.2
<b>15</b>	9.6	8.8	8.2	8.2	8.6	8.8	9	9	9.6	9.5	9.3	9.4	9.6	9.8	9.5	10	10.3	10.7	10.9
<b>20</b>	9.4	8.6	8	8	8.6	8.8	9	9	9.6	9.3	9.2	9.3	9.5	9.7	9.4	9.9	10.2	10.5	10.8
<b>25</b>	9	8.2	7.7	7.8	8.2	8.6	8.8	8.8	9.2	9.3	9.1	9.2	9.4	9.6	9.4	9.8	10.1	10.5	10.7
<b>30</b>	8.8	8.2	7.4	7.4	8	8.4	8.6	8.7	9.1	9.1	8.9	9.1	9.2	9.4	9.2	9.6	9.9	10.3	10.7
<b>35</b>	8.4	7.6	7	7	7.8	8.2	8.4	8.5	8.8	8.8	8.8	8.9	9	9.2	9	9.4	9.7	10.2	10.6
<b>40</b>	8.2	7.2	6.6	6.6	7.3	7.7	8	8.1	8.4	8.5	8.4	8.5	8.7	8.9	8.6	9.1	9.4	10	10.5
<b>45</b>	7.5	7	6.4	6.4	7	7.4	7.7	7.8	8.3	8.2	8.1	8.2	8.4	8.6	8.4	8.9	9.2	9.7	10.2
<b>50</b>	7	6.6	6	6	6.6	7	7.3	7.6	8.3	7.9	7.8	7.9	8.1	8.3	8.1	8.6	8.9	9.5	10
<b>55</b>	7.2	6.8	5.8	6	6.6	6.8	7	7.2	7.7	7.7	7.6	7.7	7.9	8	7.8	8.4	8.7	9.3	9.8
<b>60</b>	6.6	6	5.8	5.8	6.2	6.6	7	7.1	7.6	7.5	7.4	7.5	7.7	7.8	7.6	8.2	8.5	9.2	9.7
<b>65</b>	6.4	6	5.8	5.8	6.2	6.6	6.8	6.9	7.4	7.4	7.2	7.3	7.5	7.6	7.5	7.9	8.3	8.8	9.5
<b>70</b>	6.2	6	5.6	5.8	6.2	6.4	6.4	6.6	7.2	7.1	7	7.1	7.2	7.4	7.3	7.8	8.1	8.7	9.4
<b>75</b>	6	5.9	5.8	6	6.2	6.4	6.5	6.6	7.2	7.1	7	7.1	7.2	7.3	7.1	7.6	8	8.8	9.2
<b>80</b>	6.2	6	5.8	6	6.2	6.4	6.6	6.6	7.2	7	6.9	7	7.1	7.2	7.1	7.6	7.9	8.6	8.9
<b>85</b>	6	6	5.6	5.8	6	6.2	6.4	6.4	7	6.9	6.8	6.8	7	7.1	7	7.5	7.8	8.4	8.9
<b>90</b>	6	5.8	5.6	5.6	5.8	6	6.2	6.2	6.8	6.8	6.6	6.6	6.9	7	6.9	7.3	7.7	8.1	8.7
<b>95</b>	5.8	5.6	5.4	5.6	5.8	6	6	6	6.6	6.6	6.5	6.5	6.6	6.8	6.6	7.1	7.5	7.9	8.4
<b>100</b>	5.6	5.4	5.2	5.4	5.6	5.8	5.8	6	6.4	6.4	6.3	6.3	6.4	6.5	6.4	6.9	7.2	7.6	8.1

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits A avec décharge de la formation gravier - sable.**

**(Débit de la décharge Q = 0,025L/s, débit de pompage au puits A : Q = 0,065L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	10	10	10	10	10	10	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.3	10.4
<b>20</b>	9.6	9.4	9.2	9.2	9.3	9.2	9.2	9	9.4	9.4	9.3	9.3	9.5	9.6	9.3	9.6	9.6	9.9	10.1
<b>40</b>	9	9	9	8.9	9	9	8.8	8.8	9.2	9.1	9	9.1	9.2	9.3	9	9.3	9.5	9.8	9.9
<b>60</b>	8.8	8.6	8.6	8.6	8.8	8.6	8.5	8.4	8.8	8.9	8.8	8.9	9.1	9.2	8.9	9.2	9.4	9.7	9.8
<b>80</b>	8.2	8	8	8	8.2	8.2	8.2	8.1	8.4	8.7	8.6	8.7	8.9	9.1	8.8	9.1	9.2	9.5	9.6
<b>100</b>	7.9	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.6	8	8.4	8.3	8.3	8.5	8.6	8.4	8.7	8.9	9.3	9.5
<b>120</b>	7.5	7.4	7.4	7.4	7.5	7.4	7.4	7.2	7.6	8	7.9	7.9	8.1	8.3	8	8.3	8.5	8.7	8.9
<b>140</b>	7.2	7	7	7	7	7	6.8	6.8	7.2	7.5	7.4	7.4	7.5	7.7	7.4	7.8	8	8.2	8.4
<b>160</b>	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.4	6.4	6.2	6.6	7.1	7	7	7.1	7.2	6.9	7.2	7.4	7.6	7.7
<b>180</b>	6.2	6.2	6	6	6	6	6	5.8	6.2	6.6	6.5	6.5	6.7	6.8	6.5	6.8	6.9	7.1	7.2
<b>200</b>	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.4	5.4	5.7	6.2	6.1	6.1	6.2	6.3	6.1	6.4	6.5	6.6	6.8
<b>220</b>	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5	5.4	5.7	5.6	5.7	5.8	6	5.8	6.1	6.2	6.4	6.6
<b>240</b>	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.6	5	5.3	5.2	5.3	5.4	5.5	5.3	5.5	5.6	5.8	6
<b>260</b>	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.6	5	4.9	5	5.1	5.2	5	5.2	5.4	5.5	5.7
<b>280</b>	4.4	4.2	4.2	4.2	4	4	4	4	4.2	4.6	4.5	4.6	4.7	4.9	4.7	4.9	5	5.2	5.3
<b>300</b>	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.6	4	4.3	4.2	4.2	4.3	4.4	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8
<b>320</b>	3.8	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.4	3.7	4	3.9	4	4.1	4.2	4	4.3	4.4	4.6	4.7
<b>340</b>	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.6	3.7	3.6	3.6	3.7	3.8	3.6	3.8	3.9	4	4.1
<b>360</b>	3.4	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.4	3.5	3.4	3.4	3.5	3.6	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9
<b>380</b>	3.2	3	3	3	3	3	3	3	3.2	3.3	3.2	3.2	3.3	3.4	3.2	3.3	3.4	3.5	3.7
<b>400</b>	3	3	3	3	3	2.8	2.8	2.8	3	3.2	3.1	3.1	3.2	3.3	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits B avec décharge de la formation gravier - sable.**

**(Débit de la décharge Q = 0,025L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,24L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	10	10	10	10	10	10	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.3	10.4
<b>5</b>	8.6	8	7.6	7.6	7.8	8.2	8.6	8.7	8.9	8.9	8.9	9	9	9.1	9.3	9.6	9.5	9.7	10
<b>10</b>	8	7.2	6.8	6.6	7.2	7.6	8	8.2	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.9	8.8	9.1	9.2	9.5	9.7
<b>15</b>	7.6	6.6	6	6	6.6	6.6	7.4	7.7	8	8	8	8.1	8.1	8.2	8.2	8.5	8.7	9.1	9.6
<b>20</b>	6.8	6.2	5.4	5.4	6.2	6.2	7	7.4	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8.3	8.5	9	9.3
<b>25</b>	6.4	6.6	5.2	5	5.8	5.8	6.6	7	7.4	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.6	7.9	8.3	8.6	9.1
<b>30</b>	6	5.2	4.6	4.8	5.4	5.2	6.2	6.5	7	7	7	7.1	7.1	7.2	7.3	7.6	7.9	8.4	8.8
<b>35</b>	5.2	4.6	4	4.2	4.8	5	5.8	6	6.5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.7	6.9	7.3	7.5	8.2	8.8
<b>40</b>	4.8	4.4	3.8	3.8	4.6	4.8	5.2	5.8	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.5	6.6	7.1	7.3	7.9	8.4
<b>45</b>	4.6	4	3.8	3.8	4.4	4.4	5	5.4	5.8	5.9	5.9	5.9	6	6.1	6.3	6.7	6.9	7.5	7.9
<b>50</b>	4.2	3.8	3.4	3.4	4.2	4.2	4.8	5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.3	6.6	7.1	7.6
<b>55</b>	4	3.4	3	3	3.6	3.8	4.4	4.6	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.4	5.5	5.9	6.3	6.7	7.3
<b>60</b>	3.6	3	2.6	2.6	3.4	3.4	4	4.4	4.8	4.9	4.9	4.9	5	5.1	5.2	5.6	5.9	6.4	6.9
<b>65</b>	3.2	2.8	2.4	2.4	3	3.2	3.8	4	4.4	4.6	4.6	4.6	4.7	4.8	4.9	5.3	5.6	6.2	6.5
<b>70</b>	3	2.4	2.2	2.2	2.8	3.2	3.6	3.8	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4	4.5	4.7	5.1	5.3	5.8	6.3
<b>75</b>	2.8	2.6	2.4	2.4	2.8	3.4	3.4	3.8	4	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.5	4.9	5.2	5.8	6.1
<b>80</b>	3	2.8	2.8	2.8	3	3.4	3.6	3.8	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.5	4.8	5.1	5.5	6
<b>85</b>	3	3	2.8	2.8	3.2	3.4	3.7	3.8	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.7	5	5.3	5.7
<b>90</b>	3	2.8	3	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.4	4.7	5	5.2	5.5
<b>95</b>	3	3	3	3.2	3.4	3.6	3.8	3.8	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.3
<b>100</b>	3	3	3	3	3.2	3.4	3.6	3.6	3.8	4	4	4	4	4.1	4.1	4.3	4.4	4.6	4.9

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B avec décharge de la formation gravier - sable.**

**(Débit de la décharge Q = 0,025L/s, débit de pompage au puits A : Q = 0,065L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,24L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	10	10	10	10	10	10	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.2	10.2	10.2	10.3	10.4
<b>5</b>	8.6	8.4	8	8	8.2	8.4	8.4	8.5	8.8	8.8	8.7	8.8	9	9.1	8.9	9.3	9.5	9.9	10.1
<b>10</b>	8.4	8	7.8	7.8	8.2	8.2	8.2	8.4	5.6	8.7	8.7	8.8	9	9.1	8.9	9.3	9.5	9.9	10.2
<b>15</b>	8	7.8	7.6	7.6	7.8	8	8.2	8.2	8.6	8.6	8.6	8.7	8.9	9.1	8.9	9.3	9.5	9.9	10.2
<b>20</b>	8	7.8	7.6	7.6	7.8	8	8	8	8.4	8.5	8.4	8.5	8.7	8.9	8.7	9.1	9.4	9.7	10.1
<b>25</b>	7.8	7.6	7.4	7.4	7.6	7.8	7.8	7.9	8.4	8.4	8.3	8.4	8.6	8.8	8.6	9	9.3	9.6	9.9
<b>30</b>	7.6	7.2	7	7	7.2	7.4	7.4	7.6	8	8.2	8.1	8.2	8.4	8.6	8.5	8.9	9.1	9.6	9.9
<b>35</b>	7.2	7	6.8	6.8	7	7.2	7.2	7.2	7.8	8	7.9	8	8.2	8.4	8.2	8.6	8.8	9.3	9.6
<b>40</b>	7	6.8	6.6	6.6	6.8	7	7	7	7.6	7.8	7.7	7.8	8	8.2	8	8.4	8.6	9	9.4
<b>45</b>	6.8	6.6	6.4	6.4	6.6	6.8	6.8	6.8	7.4	7.7	7.6	7.6	7.8	8	7.8	8.2	8.5	9	9.4
<b>50</b>	6.6	6.4	6.2	6.3	6.6	6.7	6.8	6.8	7.2	7.5	7.4	7.4	7.6	7.8	7.6	8.1	8.2	8.8	9.2
<b>55</b>	6.6	6.4	6.2	6.2	6.4	6.6	6.6	6.6	7	7.3	7.2	7.2	7.4	7.6	7.4	7.8	8.1	8.6	9
<b>60</b>	6.2	6	5.9	6	6.2	6.4	6.4	6.4	6.8	7.1	7	7.1	7.2	7.4	7.2	7.7	7.9	8.4	8.8
<b>65</b>	6.4	6.2	6	6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.6	6.9	6.8	6.8	7	7.2	7	7.4	7.6	8.1	8.4
<b>70</b>	6.4	6.2	6	6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.6	6.7	6.6	6.6	6.8	7	6.9	7.2	7.4	7.8	8.2
<b>75</b>	6.2	6	5.8	5.8	6	6	6.1	6.1	6.4	6.5	6.5	6.5	6.7	6.8	6.6	7	7.3	7.7	8
<b>80</b>	5.8	5.6	5.4	5.6	5.8	6	5.9	5.9	6.4	6.3	6.3	6.3	6.4	6.6	6.4	6.8	7	7.3	7.7
<b>85</b>	5.6	5.4	5.2	5.2	5.6	5.6	5.6	5.6	6.2	6.2	6.1	6.1	6.2	6.4	6.2	6.5	6.7	7	7.3
<b>90</b>	5.6	5.4	5.2	5.2	5.4	5.6	5.6	5.6	6	6	5.9	5.9	6.1	6.2	6.1	6.4	6.6	7	7.3
<b>95</b>	5.6	5.4	5.2	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.8	5.8	5.7	5.7	5.8	6	5.8	6.1	6.2	6.6	6.9
<b>100</b>	5.2	5	4.9	5	5	5.2	5.2	5.2	5.6	5.6	5.5	5.5	5.7	5.8	5.6	6	6.1	6.4	6.8

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits A sans décharge de la formation multicouches.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0,04L/s)**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	9	9	9	9	9	9	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
<b>1</b>	8	7.8	7.8	7.6	7.5	7.4	7.2	7	7.2	7,5	7,1	7,1	7,5	7,5	7,1	7,3	7,3	7,5	7,6
<b>2</b>	7	7	6.8	6.6	6.4	6.4	6.2	6	6.2	6,6	6,5	6,3	6,3	6,5	5,6	5,9	5,9	6,1	6,1
<b>3</b>	6.2	6	6	5.8	5.8	5.6	5.4	5.2	5.4	5,8	5,6	5,6	5,7	5,8	5,3	5,6	5,6	5,7	5,8
<b>4</b>	5.4	5.2	5.1	5	5	4.8	4.8	4.6	4.8	5,1	4,9	4,8	5,1	5	4,7	4,9	4,9	5	5
<b>5</b>	4.6	4.4	4.4	4.2	4.2	4	4	3.8	4	4,8	4,7	4,6	4,3	4,3	4	4,1	4,1	4,2	4,2
<b>6</b>	4	3.8	3.8	3.6	3.6	3.6	3.5	3.4	3.5	3,8	3,6	3,6	3,7	3,8	3,5	3,6	3,6	3,7	3,8
<b>7</b>	3.4	3.8	3.8	3.4	3.4	3.3	3.2	3.1	3.2	3,4	3,4	3,3	3,4	3,4	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4
<b>8</b>	3.2	3.2	3.2	3	3	3	3	2.8	3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	2,9	3	3	3,1	3,1
<b>9</b>	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	3.6	2.7	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9
<b>10</b>	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8
<b>11</b>	2.5	2.5	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4	2.4	2.5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,4	2,5	2,5	2,6	2,6
<b>12</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5
<b>13</b>	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
<b>14</b>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	2,3	2,3
<b>15</b>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,2	2,4	2,3	2,3	2,3
<b>16</b>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2,2	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3
<b>17</b>	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3
<b>18</b>	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
<b>19</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,2
<b>20</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,1	2,2	2,1	2,2	2,2

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits B sans décharge de la formation multicouches.**

**(Débit de pompage au puits B : Q = 0,06L/s)**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	9	9	9	9	9	9	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
<b>1</b>	8	7.8	7.6	7.6	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8,2	8,2	5,2	8,2	8,1	8,1	8,1	8,1	8,5	8,3
<b>2</b>	7.2	7.1	6.9	6.9	7	7.1	7.2	7.2	7.2	7,6	7,6	7,5	7,5	7,5	7,4	7,5	7,5	7,6	7,6
<b>3</b>	6.4	6.3	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.4	6.4	6,9	6,8	6,7	6,8	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9
<b>4</b>	5.8	5.7	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	6,1	6,1	5,9	5,9	6	5,9	5,9	5,9	6	6
<b>5</b>	5.2	5.1	5	5	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,5	5,5
<b>6</b>	4.7	4.6	4.6	4.5	4.6	4.6	4	4.7	4.7	5,1	5	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
<b>7</b>	4.3	4.2	4.1	4.1	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4,6	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>8</b>	4	3.9	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	4	4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1	4,2	4,2	4,2	4,2
<b>9</b>	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3,9	3,9	3,9	3,8	3,9	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9
<b>10</b>	3.4	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.2	3.5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
<b>11</b>	3.2	3.2	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.1	3.3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
<b>12</b>	3	2.9	3	3	3	3.1	3.1	2.9	3.1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,2	3,3	3,3
<b>13</b>	2.9	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	3	3	3	3	3,1	3,1	3,1	3,1	3	3,1	3,1
<b>14</b>	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2,9	3	2,9	3	3	3	3,1	2,9	2,9	3,1
<b>15</b>	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
<b>16</b>	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9
<b>17</b>	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
<b>18</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
<b>19</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
<b>20</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6

**Les niveaux piézométriques**



**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge de la formation multicouches.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0,04L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,06L/s)**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	9	9	9	9	9	9	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
<b>1</b>	7.4	7.1	6.9	6.6	6.6	6.5	6.6	6.5	6.8	7.6	7.1	7	7.1	7.2	6.9	7.2	7.3	7.5	7.5
<b>2</b>	5.9	5.6	5.4	5.2	5.1	5	5	4.8	5.1	5.7	5.5	5.4	5.5	5.5	5.2	5.4	5.4	5.6	5.7
<b>3</b>	4.6	4.3	4.1	4	4	3.9	3.8	3.8	3.9	4.3	4.2	4.2	4.3	4.4	4.1	4.3	4.3	4.4	4.5
<b>4</b>	3.6	3.4	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.2	3.5	3.4	3.4	3.5	3.5	3.3	3.5	3.5	3.6	3.6
<b>5</b>	3	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7	2.8	3	3	2.9	3	3	2.9	3	2.9	3.1	3.1
<b>6</b>	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8
<b>7</b>	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6
<b>8</b>	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.3	2.3	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5
<b>9</b>	2.1	2.2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4
<b>10</b>	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>11</b>	2	2	2	2	2	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>12</b>	1.9	2	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
<b>13</b>	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	2.1	2	2.1	2.1
<b>14</b>	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2	2.1	2.1
<b>15</b>	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2	2	2
<b>16</b>	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2	2	2
<b>17</b>	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2	2	2
<b>18</b>	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2	2	2

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de la décharge sans pompage de la formation multicouches.**

**(Débit de la décharge Q = 0,12L/s)**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	8.2	8.2	8.2	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9	8.9
<b>1</b>	7.4	7.6	7.6	7.8	7.8	7.8	7.9	8	8	8.4	8.3	8.3	8.2	8.3	8.2	8.3	8.4	8.6	8.6
<b>2</b>	6.8	6.9	6.9	7.2	7.2	7.2	7.3	7.3	7.4	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.7	7.9	7.9	8	8
<b>3</b>	6.2	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	7.1	7	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9	6.8	6.9	6.9
<b>4</b>	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6	6.1	6.1	5.8	6.2
<b>5</b>	4.8	4.9	4.9	5	5	5	5	5.1	5.2	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.5
<b>6</b>	4.2	4.2	4.2	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.6	4.8	4.7	4.8	4.8
<b>7</b>	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4.2
<b>8</b>	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7
<b>9</b>	2.8	2.9	2.9	3	3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.4
<b>10</b>	2.5	2.4	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	3	3	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3	3
<b>11</b>	2.3	2.2	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8
<b>12</b>	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7
<b>13</b>	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>14</b>	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	2.4
<b>15</b>	1.9	1.9	2	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
<b>16</b>	1.8	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3
<b>17</b>	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>18</b>	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2
<b>19</b>	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1	2.1
<b>20</b>	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2	2	2	2.1	2.1	2	2.1	2.1	2	2

**Les niveaux piézométriques**

## Annexes

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits A avec décharge de la formation multicouches.**

**(Débit de pompage au puits A :  $Q = 0,04L/s$ , débit de la décharge :  $Q = 0,12L/s$ )**

Piézomètres Temps (min)	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
<b>0</b>	0	8.2	8.2	8.2	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9
<b>1</b>	1	6.4	6.4	6.2	6.2	6.1	6	6	5.8	6.1	7.6	6.3	6.3	6.4	6.5	6.1	6.4	6.5	6.7
<b>2</b>	2	5.3	5.2	5.1	5	5	5	4.8	4.7	4.8	5.3	5.1	5.1	5.2	5.3	5	5.2	5.3	5.4
<b>3</b>	3	4.2	4	4	4	3.8	3.8	3.8	3.6	3.8	4.2	4	4.1	4.2	4.2	3.8	4	4	4.1
<b>4</b>	4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3	3	3.2	3.4	3.3	3.3	3.4	3.4	3.2	3.4	3.4	3.5
<b>5</b>	5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.7	2.9	2.9	3
<b>6</b>	6	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.5	2.7	2.7	2.7
<b>7</b>	7	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.3	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.4	2.6	2.6	2.6
<b>8</b>	8	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.3	2.5	2.5	2.5
<b>9</b>	9	2	2.1	2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.2	2.4	2.4	2.4
<b>10</b>	10	1.9	2	2	2	2	2	2	2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.2	2.3	2.2	2.3

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué au puits B avec décharge de la formation multicouches.**

**(Débit de pompage au puits B :  $Q = 0,06L/s$ , débit de la décharge :  $Q = 0,12L/s$ )**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	8.2	8.2	8.2	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9	8.9
<b>1</b>	6.5	6.4	6.3	6.4	6.6	6.6	6.7	6.8	6.8	7.4	7.3	7.6	7.2	7.2	7.2	7.3	7.3	7.5	7.4
<b>2</b>	5.6	5.5	5.4	5.4	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	6.2	6.1	6.1	6	6	5.9	6	6	6.4	6.2
<b>3</b>	4.6	4.6	4.6	5.4	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5	5.1	5.1	5.2	5.3
<b>4</b>	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.2	4.3	4.4	3.4	4.4
<b>5</b>	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8
<b>6</b>	2.8	2.8	2.8	2.9	3	3	3	3.1	3.1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4
<b>7</b>	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	3.1	3.1	3	3	3.1	3	3.1	3	2.1	3.1
<b>8</b>	2.4	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9	3
<b>9</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.7	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8
<b>10</b>	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.7

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B avec décharge de la formation multicouches.**

**(Débit de pompage au puits A :  $Q = 0,04L/s$ , débit de pompage au puits B :  $Q = 0,06L/s$ , débit de la décharge  $Q = 0,12L/s$ )**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	8.2	8.2	8.2	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9	8.9
<b>15</b>	7.8	7.6	7.4	7.4	7.5	7.6	7.6	7.4	7.8	7.7	7.5	7.5	7.7	7.9	7.6	8	8.1	8.5	8.8
<b>30</b>	7.4	7.2	7	7	7	7	7.2	7	7.4	7.4	7.2	7.2	7.3	7.5	7.3	7.7	7.8	8.3	8.5
<b>45</b>	7	6.8	6.6	6.6	6.8	6.8	6.8	6.6	7.2	7	6.7	6.7	6.9	7	6.8	7.2	7.5	7.9	8.2
<b>60</b>	6.6	6.4	6.2	6.2	6.4	6.4	6.4	6.4	6.6	6.5	6.3	3.3	6.4	6.5	6.4	6.7	7	7.5	7.8
<b>75</b>	6	5.8	5.6	5.6	5.8	5.8	5.8	5.8	6.2	6	5.8	5.8	5.9	5.9	5.8	6.1	6.2	6.8	7.1
<b>90</b>	5.4	5.2	5.1	5.1	5.3	5.3	5.3	5.3	5.7	5.5	5.4	5.3	5.5	5.5	5.4	5.7	5.9	6.2	6.6
<b>105</b>	5	4.8	4.7	4.7	4.8	5	5	4.8	5.2	5	4.9	4.9	5	5	5.1	5.4	5.5	5.8	6
<b>120</b>	4.6	4.4	4.2	4.2	4.5	4.5	4.5	4.5	4.8	4.8	4.6	4.5	4.7	4.8	4.6	5.8	5	5.4	5.6
<b>135</b>	4.2	4	3.8	4	4	4	4.2	4.2	4.4	4.3	4.2	4.2	4.3	4.4	4.1	4.5	4.7	4.9	5.2
<b>150</b>	4	3.8	3.6	3.8	3.7	3.8	3.8	3.9	4.2	4.1	4	4	4.1	4.1	3.9	4.2	4.3	4.5	4.8
<b>165</b>	3.6	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.8	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	3.7	3.9	4	4.2	4.4
<b>180</b>	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	3.2	3.2	3.5	3.5	3.2	3.4	3.5	3.5	3.4	3.6	3.7	3.8	3.9
<b>195</b>	3	3	3	3	3	3.1	3.1	3.1	3.4	3.3	3.2	3.3	3.5	3.3	3.2	3.4	3.5	3.6	3.6
<b>210</b>	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	3	3	3	3.2	3.1	3	3.1	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.3	3.4
<b>225</b>	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	3	3	2.9	3	3	3	3	3	3.1	2.9	3.3
<b>240</b>	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	2.9	2.9	3.2
<b>255</b>	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.8	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.6	2.7	2.8	2.8	3.1
<b>270</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.6	2.5	2.6	2.7	2.8	3
<b>285</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.8
<b>300</b>	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.6	2.3	2.4	2.3	2.4	2.4	2.3	2.5	2.6

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A sans décharge de la formation mélange.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0,05L/s)**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	9.1	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	9.7	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
<b>1</b>	9.1	9.1	8.7	8.3	8.1	8	7.8	7.6	7.7	7.9	7.7	7.7	8	8.1	7.5	7.8	7.9	8.5	9.6
<b>2</b>	9	8.8	8.3	7.8	7.6	7.4	7.2	6.9	7	7.3	7.4	7.2	7.4	7.5	7.1	7.3	7.3	7.9	9.5
<b>3</b>	9	8.4	7.6	7.1	7	6.8	6.6	6.4	6.6	6.9	6.7	6.7	6.8	7	6.5	6.8	6.7	7.5	9.4
<b>4</b>	8.8	7.9	6.9	6.4	6.3	6.1	5.9	5.6	5.8	6.2	6	6.1	6.1	6.2	5.8	6	6	6.8	9.2
<b>5</b>	8.5	7.7	5.6	5.6	5.2	5	4.9	4.6	4.8	5.1	5	4.9	5	5	4.7	4.9	4.9	5.9	9
<b>6</b>	8.3	5.6	4.6	4.4	4.2	4.1	4	3.8	4	4.3	4.2	4.2	4.2	4.3	4.1	4.2	4.2	5.2	8.7
<b>7</b>	7.7	4.7	4	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.6	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.7	3.7	4.5	8.4
<b>8</b>	7.3	4.4	3.8	3.5	3.5	3.4	3.4	3.3	3.5	3.5	3.5	3.4	3.4	3.5	3.4	3.5	3.5	4.2	8
<b>9</b>	7	4.1	3.6	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.4	3.3	3.3	3.3	3.4	3.2	3.4	3.4	3.9	7.6
<b>10</b>	6.8	3.9	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3	3.2	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.3	3.2	3.3	3.3	3.8	7.3
<b>11</b>	6.4	3.8	3.3	3.2	3.1	3.1	3	2.9	3	3.2	3.1	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.1	3.6	7
<b>12</b>	6	3.4	3.1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3	3	2.9	2.9	2.9	3	2.9	3	3	3.4	6.7
<b>13</b>	5.8	3.3	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.9	2.8	2.9	2.9	3.3	6.5
<b>14</b>	5.4	3.1	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.7	2.9	2.8	3.2	6.2
<b>15</b>	5.2	3	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	2.8	2.8	3.1	6
<b>16</b>	5	3	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.6	2.7	2.7	3.1	5.8
<b>17</b>	5	2.9	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7	3	5.6
<b>18</b>	4.8	2.8	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.9	5.3
<b>19</b>	4.7	2.8	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.8	5.1
<b>20</b>	4.6	2.8	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.8	5

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits B sans décharge de la formation mélange.**

**(Débit de pompage au puits B : Q = 0,045L/s)**

<b>Piézomètres</b> <b>Temps (min)</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	0	9.1	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	9.7	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
<b>1</b>	1	9	8.4	7.8	8	8.2	8.3	8.4	8.5	8.5	8.7	8.8	8.8	8.8	8.9	8.7	8.8	8.8	9.1
<b>2</b>	2	8.8	8	7.4	7.6	7.7	7.9	8	8.1	8.1	8.4	8.4	8.4	8.5	8.5	8.3	8.4	8.4	8.7
<b>3</b>	3	8.7	7.6	6.9	7	7.2	7.3	7.4	7.5	7.5	7.9	7.9	7.9	8	8.1	7.8	7.8	7.8	8.3
<b>4</b>	4	8.6	7.1	6.5	6.6	6.7	6.8	7	7.1	7.1	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.3	7.4	7.4	8
<b>5</b>	5	8.4	6.7	6.2	6.4	6.6	6.8	6.9	7	7	7.2	7.2	7.2	7.5	7.3	7.2	7.3	7.3	7.8
<b>6</b>	6	8.3	6.8	6.3	6.4	6.6	6.7	6.8	6.9	7	7.1	7.1	7.1	7.2	7.2	7.1	7.2	7.2	7.7
<b>7</b>	7	8.2	6.3	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.9	5.9	6	6	6	6	6	5.8	6.1	6.1	6.9
<b>8</b>	8	7.9	5.6	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4	5.4	5.5	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.6	5.8	5.8	6.6
<b>9</b>	9	7.6	5.3	4.8	4.8	4.9	5	5.1	5.1	5.2	5.4	5.4	5.3	5.3	5.3	5.3	5.6	5.3	6.2
<b>10</b>	10	7.3	5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	5	5	5	5	5	4.9	5	5	6.7
<b>11</b>	11	7.1	4.8	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.8	4.8	5.4
<b>12</b>	12	6.8	4.5	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5
<b>13</b>	13	6.5	4.3	4	4	4	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.8
<b>14</b>	14	6.3	4.2	3.8	3.8	3.9	3.9	4	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.6
<b>15</b>	15	6	4.1	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	4.1	4.1	4.1	4.5
<b>16</b>	16	5.8	3.9	3.6	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	4	4	4	4	4	3.9	4	4	4.3
<b>17</b>	17	5.6	3.8	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	4.3
<b>18</b>	18	5.5	3.7	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	3.8	4.2
<b>19</b>	19	5.4	3.7	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.8	3.8	4.1
<b>20</b>	20	5.3	3.6	3.4	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	4

**Les niveaux piézométriques**

**Annexes**

**Les résultats de l'essai de pompage effectué aux puits A et B sans décharge de la formation mélange.**

**(Débit de pompage au puits A : Q = 0,05L/s, débit de pompage au puits B : Q = 0,045L/s)**

<b>Piézomètres</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>	<b>P7</b>	<b>P8</b>	<b>P9</b>	<b>P10</b>	<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>	<b>P16</b>	<b>P17</b>	<b>P18</b>	<b>P19</b>	<b>P20</b>
<b>0</b>	9.1	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.7	9.7	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
<b>5</b>	8.9	9.3	7.4	7.6	8	8.2	8.4	8.4	8.6	8.5	8.4	8.6	8.7	9.1	8.5	8.8	8.9	9.9	9.9
<b>10</b>	8.6	9.2	7.8	8	8.2	8.4	8.4	8.4	8.6	8.5	8.4	8.5	8.7	8.9	8.5	8.7	8.9	9.9	9.9
<b>15</b>	8.6	9	7.6	7.8	8	8.2	8.2	8.2	8.6	8.5	8.4	8.5	8.7	8.9	8.5	8.9	8.9	9.7	9.8
<b>20</b>	8.4	8.8	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.4	8.7	8.5	8.5	8.6	8.8	8.9	8.6	8.9	8.9	9.6	9.7
<b>25</b>	8.4	9	8	8	8.2	8.4	8.4	8	8.5	8.5	8.5	8.5	8.7	8.9	8.5	8.8	8.9	9.5	9.7
<b>30</b>	8.2	9	8	8	8.2	8.4	8.4	8.4	8.6	8.4	8.3	8.4	8.6	8.8	8.3	8.6	8.7	9.4	9.6
<b>40</b>	8.2	9	8	8	8.2	8.4	8.2	8.2	8.4	8.4	8.3	8.4	8.5	8.7	8.3	8.4	8.7	9.2	9.6
<b>50</b>	8	9	8	8	8.2	8.2	8.2	8	8.4	8.3	8.2	8.3	8.5	8.6	8.2	8.3	8.5	9.1	9.5
<b>60</b>	8	9	8	8	8.2	8.2	8.2	8	8.4	8.3	8.2	8.3	8.5	8.6	8.2	8.5	8.6	9.1	9.6
<b>80</b>	7.8	8.6	7.8	7.8	8	8	8	7.8	8.2	8	7.9	8	8.2	8.4	7.9	8.1	8.2	8.9	9.6
<b>100</b>	7.8	8.4	7.4	7.4	7.6	7.7	7.6	7.5	7.8	8	7.8	8	8.2	8.3	7.9	8.1	8.2	8.9	9.6
<b>120</b>	7.5	8.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.6	7.5	7.8	7.8	7.7	7.8	8	8.2	7.6	7.9	8.1	8.7	9.4
<b>160</b>	7.5	8.6	7.6	7.4	7.6	7.6	7.6	7.4	7.6	7.6	7.4	7.5	7.7	7.8	7.5	7.7	7.8	8.3	9
<b>200</b>	7.5	8.4	7.2	7	7.2	7.2	7.4	7.2	7.4	7.4	7.1	7.4	7.6	7.8	7.2	7.5	7.6	8.1	8.9
<b>240</b>	7.4	8.2	7.2	7	7.2	7.2	7.4	7	7.4	7.3	7.2	7.3	7.5	7.7	7.1	7.4	7.6	8.1	8.9
<b>280</b>	7.4	8	7	6.8	7	7	7.2	6.8	7.2	7	6.9	7	7.2	7.3	6.9	7.2	7.2	7.9	8.9
<b>320</b>	7	7.6	6.4	6.4	6.4	6.4	6.3	6.2	6.6	6.6	6.5	6.6	6.8	7	6.6	6.8	7	7.8	8.8
<b>360</b>	7	7.4	6.2	6	6	6	6	6	6.2	6.2	6.1	6.2	6.3	6.4	6	6.2	6.3	7.2	8.6
<b>420</b>	7	7	5.6	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.6	4.7	4.6	4.6	4.8	5.1	4.5	4.8	4.9	5.9	8.4
<b>460</b>	7	6.6	5.2	4.6	4.6	4.6	4.6	4.4	4.6	4.1	4	4.1	4.2	4.2	3.8	4.1	4.1	3.6	8.2

**Les niveaux piézométriques**



**Annexes**

**Les résultats observés aux piézomètres n° 4, 5, 9, 12, 13 et 16 de pompage d'essai effectué au puits A :**

<b>Les formations</b>																								
<b>Sable-gravier</b>							<b>Gravier - sable</b>						<b>Multicouches</b>						<b>Mélange</b>					
<b>Temps (min)</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P9</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P16</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P9</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P16</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P9</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P16</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P9</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P16</b>
<b>0</b>	9.7	9.6	8.9	8.6	8.5	8.5	9.6	10.5	10.6	10.7	10.7	10.6	9	9	9.1	9.1	9.1	9.2	9.4	9.5	9.7	9.8	9.8	9.9
<b>1</b>	6.4	6.4	8.9	8.6	8.5	8.5	8.4	8.4	9.3	9.6	9.7	9.8	6.9	6.6	6.5	7.1	7	6.9	7.4	7.6	8.4	8.4	8.6	8.5
<b>2</b>	6.2	6.2	8.6	8.6	8.5	8.5	8.2	8.2	9.2	9.5	9.6	9.7	5.4	5.2	4.8	5.5	5.4	5.2	7.8	8	8.4	8.4	8.5	8.5
<b>3</b>	6	5.8	8.2	8.6	8.5	8.5	8.2	8.2	9	9.3	9.4	9.5	4.1	4	3.8	4.2	4.2	4.1	7.6	7.8	8.2	8.4	8.5	8.5
<b>4</b>	5.5	5.4	7.6	8.3	8.2	8.1	8	8	9	9.2	9.3	9.4	3.3	3.2	3.1	3.4	3.4	3.3	8.4	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6
<b>5</b>	4.8	5	7.2	7.8	7.7	7.7	7.7	7.8	8.8	9.1	9.2	9.4	2.9	2.8	2.7	3	2.9	2.9	8	8	8	8.5	8.5	8.5
<b>6</b>	4.6	4.6	6.4	7	6.9	6.7	7.4	7.4	8.7	8.9	9.1	9.2	2.5	2.5	2.5	2.7	2.6	2.6	8	8	8.4	8.3	8.4	8.3
<b>7</b>	4.2	4.2	5.6	6.1	6	5.7	7	7	8.5	8.8	8.9	9	2.4	2.4	2.3	2.5	2.5	2.4	8	8	8.2	8.3	8.4	8.3
<b>8</b>	4	3.8	5	5.4	5.3	5.2	6.6	6.6	8.1	8.4	8.5	8.6	2.3	2.2	2.2	2.4	2.3	2.3	8	8	8	8.2	8.3	8.2
<b>9</b>	3.8	3.6	4.5	4.9	4.8	4.7	6.4	6.4	7.8	8.1	8.2	8.4	2.1	2.1	2.2	2.3	2.3	2.3	8	8	8	8.2	8.3	8.2
<b>10</b>	3.6	3.4	4.1	4.5	4.4	4.4	6	6	7.6	7.8	7.9	8.1	2.1	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2	7.8	7.8	7.8	7.9	8	7.9
<b>11</b>	3.6	3.2	3.8	4.1	4.1	4	5.8	6	7.2	7.6	7.7	7.8	2	2	2	2.1	2.1	2.1	7.4	7.4	7.5	7.8	8	7.9
<b>12</b>	3.4	3	3.5	3.8	3.8	3.7	5.8	5.8	7.1	7.4	7.5	7.6	1.9	1.9	2	2.1	2.1	2.1	7.6	7.6	7.5	7.7	7.8	7.6
<b>13</b>	3.4	3	3.2	3.6	3.6	3.5	5.8	5.8	6.9	7.2	7.3	7.5	1.9	1.9	1.9	2.1	2.1	2	7.6	7.4	7.4	7.4	7.5	7.5
<b>14</b>	3.2	2.8	3	3.4	3.3	3.3	5.6	5.8	6.6	7	7.1	7.3	1.9	1.9	1.9	2	2	2	7.2	7	7.2	7.1	7.4	7.2
<b>15</b>	3.2	2.8	2.9	3.2	3.2	3.2	5.8	6	6.6	7	7.1	7.1	1.8	1.8	1.9	2	2	2	7.2	7	7	7.2	7.3	7.1
<b>16</b>	3.1	2.7	2.7	3	3	2.9	5.8	6	6.6	6.9	7	7.1	1.8	1.8	1.9	2	2	2	7	6.8	6.8	6.9	7	6.9
<b>17</b>	3	2.6	2.6	2.8	2.8	2.8	5.6	5.8	6.4	6.8	6.8	7	1.8	1.8	1.9	2	2	2	6.4	6.4	6.2	6.5	6.6	6.6
<b>18</b>	3	2.5	2.5	2.8	2.7	2.7	5.6	5.6	6.2	6.6	6.6	6.9	1.8	1.8	1.9	2	2	2	6.2	6	6	6.1	6.2	6
<b>19</b>	3	2.5	2.4	2.6	2.6	2.6	5.4	5.6	6	6.5	6.5	6.6	/	/	/	/	/	/	5.6	5.4	5.4	4.6	4.6	4.5
<b>20</b>	2.9	2.4	2.3	2.5	2.5	2.5	5.2	5.4	6	6.3	6.3	6.4	/	/	/	/	/	/	5.2	4.6	4.4	4	4.1	3.8

**Annexes**

**Les résultats observés aux piézomètres n° 4, 5, 9, 12, 13 et 16 de pompage d'essai effectué au puits B :**

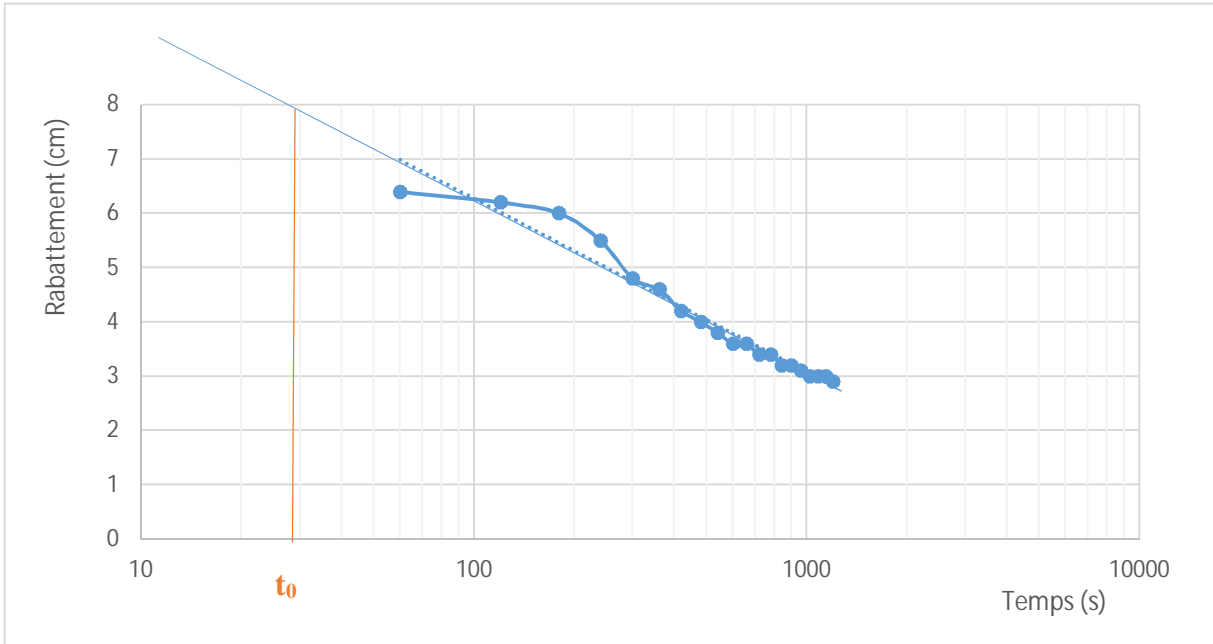
Les formations																								
Sable-gravier							Gravier - sable						Multicouches						Mélange					
Temps (min)	P4	P5	P9	P12	P13	P16	P4	P5	P9	P12	P13	P16	P4	P5	P9	P12	P13	P16	P4	P5	P9	P12	P13	P16
0	9.7	9.6	8.9	8.6	8.5	8.5	9.6	10.5	10.6	10.7	10.7	10.6	9	9	9.1	9.1	9.1	9.2	9.4	9.5	9.7	9.8	9.8	9.9
1	7.6	7	8.6	8.6	8.5	8.5	9.6	10.5	10.4	10.6	10.5	10.5	7.6	7.6	7.9	8,2	5,2	8,1	7.8	8	8.5	8.8	8.8	8.7
2	7.2	6.8	8.6	8.6	8.5	8.5	5	3.8	5	5.7	5.9	5.7	6.9	6.9	7.2	7,6	7,5	7,4	7.4	7.6	8.1	8.4	8.4	8.3
3	6.8	6.6	8.6	8.6	8.5	8.5	1.4	1.6	2.6	3.1	3.1	3.2	6.2	6.2	6.4	6,8	6,7	6,7	6.9	7	7.5	7.9	7.9	7.8
4	6.4	6.4	8.6	8.6	8.5	8.5	2	2	2.4	2.8	2.8	2.8	5.6	5.6	5.7	6,1	5,9	5,9	6.5	6.6	7.1	7.3	7.3	7.3
5	6.4	6.3	8.6	8.6	8.5	8.5	2.2	2.3	2.5	2.7	2.7	2.7	5	5	5.2	5,5	5,4	5,4	6.2	6.4	7	7.2	7.2	7.2
6	6.2	6.2	8.6	8.6	8.5	8.5	2.2	2.3	2.4	2.6	2.6	2.6	4.6	4.5	4.7	5	4,9	4,9	6.3	6.4	6.9	7.1	7.1	7.1
7	6	6	8.4	8.6	8.5	8.5	2.1	2.2	2.3	2.5	2.5	2.5	4.1	4.1	4.3	4,5	4,5	4,5	5.7	5.7	5.9	6	6	5.8
8	5.4	5.6	8.4	8.6	8.5	8.5	2.1	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	3.8	3.8	4	4,2	4,2	4,1	5.1	5.2	5.4	5.7	5.7	5.6
9	5	5.4	8.4	8.6	8.5	8.5	2.1	2.1	2.2	2.4	2.4	2.4	3.6	3.6	3.7	3,9	3,9	3,8	4.8	4.8	5.1	5.4	5.3	5.3
10	5	5.4	8.4	8.6	8.5	8.5	2	2.1	2.2	2.3	2.3	2.4	3.3	3.3	3.2	3,6	3,6	3,6	4.6	4.6	4.8	5	5	4.9
11	5	5.4	8.4	8.6	8.5	8.5	2	2	2.2	2.3	2.3	2.3	3.1	3.1	3.1	3,4	3,4	3,4	4.4	4.4	4.6	4.7	4.7	4.7
12	4.8	5.4	8.4	8.6	8.5	8.5	2	2	2.1	2.2	2.3	2.3	3	3	2.9	3,2	3,2	3,2	4.1	4.1	4.4	4.5	4.5	4.5
13	4.8	5.3	8.4	8.6	8.5	8.5	2	2	2.1	2.2	2.3	2.3	2.8	2.8	2.8	3	3	3,1	4	4	4.2	4.3	4.3	4.3
14	4.8	5.3	8.4	8.6	8.5	8.5	1.9	2	2	2.2	2.3	2.3	2.7	2.8	2.8	3	2,9	3	3.8	3.8	4.1	4.2	4.2	4.2
15	4.8	5.2	8.4	8.6	8.5	8.5	1.8	2	2	2.2	2.2	2.2	2.7	2.7	2.7	2,9	2,9	2,9	3.7	3.7	3.9	4.1	4.1	4.1
16	4.6	5.2	8.4	8.6	8.5	8.5	1.8	2	2	2.2	2.2	2.2	2.6	2.6	2.7	2,8	2,8	2,8	3.6	3.7	3.8	4	4	3.9
17	4.6	5.2	8.4	8.6	8.5	8.5	1.8	1.9	2	2.2	2.2	2.2	2.6	2.6	2.7	2,8	2,7	2,8	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	3.9
18	4.6	5.2	8.4	8.6	8.5	8.5	1.8	1.9	2	2.2	2.2	2.2	2.5	2.5	2.5	2,7	2,7	2,7	3.4	3.5	3.7	3.8	3.8	3.8
19	4.6	5.2	8.4	8.6	8.5	8.5	1.8	1.9	2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2,7	2,7	2,7	3.4	3.4	3.6	3.7	3.7	3.7
20	4.6	5.2	8.4	8.6	8.5	8.5	1.8	1.9	1.9	2.2	2.2	2.1	2.4	2.4	2.4	2,6	2,6	2,6	3.4	3.3	3.5	3.6	3.6	3.7

**Annexes**

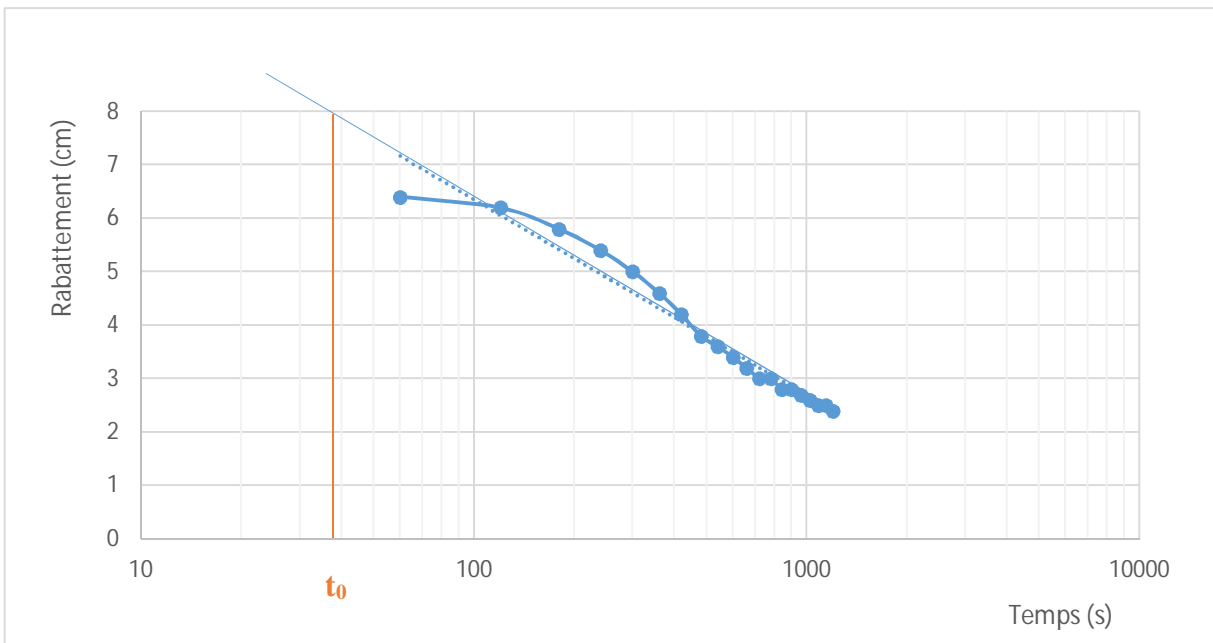
**Les résultats observés aux piézomètres n° 4, 5, 9, 12, 13 et 16 de pompage d'essai effectué aux puits A et B :**

Temps (min)	Les formations																							
	Sable - gravier						Gravier - sable						Multicouches						Mélange					
	P4	P5	P9	P12	P13	P16	P4	P5	P9	P12	P13	P16	P4	P5	P9	P12	P13	P16	P4	P5	P9	P12	P13	P16
0	9.7	9.6	8.9	8.6	8.5	8.5	9.6	10.5	10.6	10.7	10.7	10.6	9	9	9.1	9.1	9.1	9.2	9.4	9.5	9.7	9.8	9.8	9.9
1	9.8	9.6	8.8	8.6	8.5	8.5	9.6	9.6	9	9.5	9.4	9.3	7.8	7.6	7	7,1	7,1	7,1	8.7	8.3	7.6	7.7	7.7	7.5
2	9.8	9.6	8.6	8.6	8.5	8.5	9.1	9	8.4	9	8.9	8.9	6.8	6.6	6	6,5	6,3	5,6	8.3	7.8	6.9	7.4	7.2	7.1
3	9.8	9.4	8.2	8.6	8.5	8.5	8.3	8.2	7.6	8.1	8	7.9	6	5.8	5.2	5,6	5,6	5,3	7.6	7.1	6.4	6.7	6.7	6.5
4	9.7	9.2	7.2	8.6	8.5	8.5	7.2	7	6.5	7.1	7.1	6.8	5.1	5	4.6	4,9	4,8	4,7	6.9	6.4	5.6	6	6.1	5.8
5	9.6	9	70.2	7.8	7.8	7.6	6.1	6	5.5	6.1	6.1	5.9	4.4	4.2	3.8	4,7	4,6	4	5.6	5.6	4.6	5	4.9	4.7
6	9.6	9	6.7	7.2	7.1	7	5.2	5.1	4.6	5.2	5.2	4.9	3.8	3.6	3.4	3,6	3,6	3,5	4.6	4.4	3.8	4.2	4.2	4.1
7	9.4	8.6	5.8	6.4	6.3	6.1	4.5	4.4	4	4.4	4.4	4.2	3.8	3.4	3.1	3,4	3,3	3,2	4	3.7	3.5	3.7	3.7	3.6
8	9.2	8.2	5.2	5.7	5.6	5.5	3.8	3.8	3.5	3.8	3.8	3.7	3.2	3	2.8	3,1	3,1	2,9	3.8	3.5	3.3	3.5	3.4	3.4
9	9	8	4.8	5.1	5	5	3.4	3.4	3.1	3.4	3.3	3.3	2.8	2.8	3.6	2,8	2,8	2,8	3.6	3.4	3.2	3.3	3.3	3.2
10	8.6	7.6	4.2	4.7	4.7	4.5	3	3	2.8	3.1	3.1	3.1	2.6	2.6	2.6	2,6	2,6	2,6	3.5	3.4	3.2	3.2	3.2	3.2
11	8.4	7.2	4	4.4	4.3	4.2	2.8	2.8	2.7	2.9	2.9	2.9	2.4	2.4	2.4	2,5	2,5	2,4	3.3	3.2	2.9	3.1	3.1	3.1
12	8.2	7	3.8	4.1	4	4	2.8	2.8	2.6	2.9	2.9	2.8	2.4	2.4	2.4	2,4	2,4	2,4	3.1	2.9	2.8	2.9	2.9	2.9
13	7.8	6.4	3.4	3.8	3.8	3.7	2.7	2.7	2.6	2.8	2.8	2.8	2.3	2.3	2.2	2,4	2,4	2,3	2.9	2.8	2.8	2.9	2.8	2.8
14	6.2	5.2	3.4	3.6	3.6	3.5	2.6	2.6	2.5	2.8	2.7	2.7	2.2	2.2	2.2	2,3	2,3	2,3	2.8	2.7	2.7	2.8	2.8	2.7
15	6	5	3.2	3.4	3.4	3.3	2.5	2.5	2.4	2.7	2.7	2.6	2.2	2.2	2.2	2,3	2,3	2,2	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7
16	5.8	4.8	3	3.2	3.2	3.2	2.4	2.4	2.4	2.6	2.6	2.5	2.2	2.2	2.2	2,3	2,2	2,2	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6
17	5.6	4.6	2.8	3.1	3.1	3	2.3	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.1	2.1	2.1	2,2	2,2	2,2	2.6	2.5	2.5	2.7	2.7	2.6
18	5.4	4.4	2.7	2.9	2.9	2.8	2.3	2.3	2.2	2.4	2.4	2.4	2.1	2.1	2.1	2,2	2,2	2,2	2.6	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5
19	5.3	4.3	2.6	2.8	2.8	2.8	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.4	2	2	2	2,1	2,2	2,1	2.5	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5
20	5.2	4.2	2.5	2.7	2.7	2.7	2.2	2.2	2.2	2.4	2.4	2.3	2	2	2	2,1	2,1	2,1	2.5	2.4	2.4	2.5	2.5	2.4

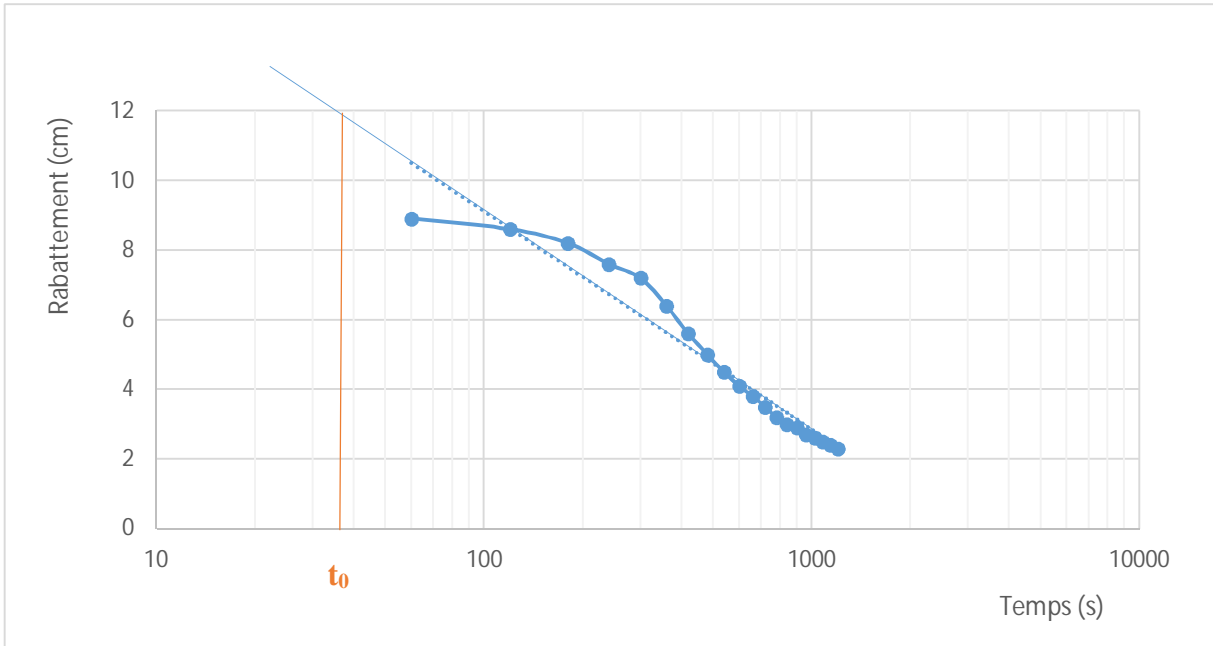
**II. Annexe des courbes :**



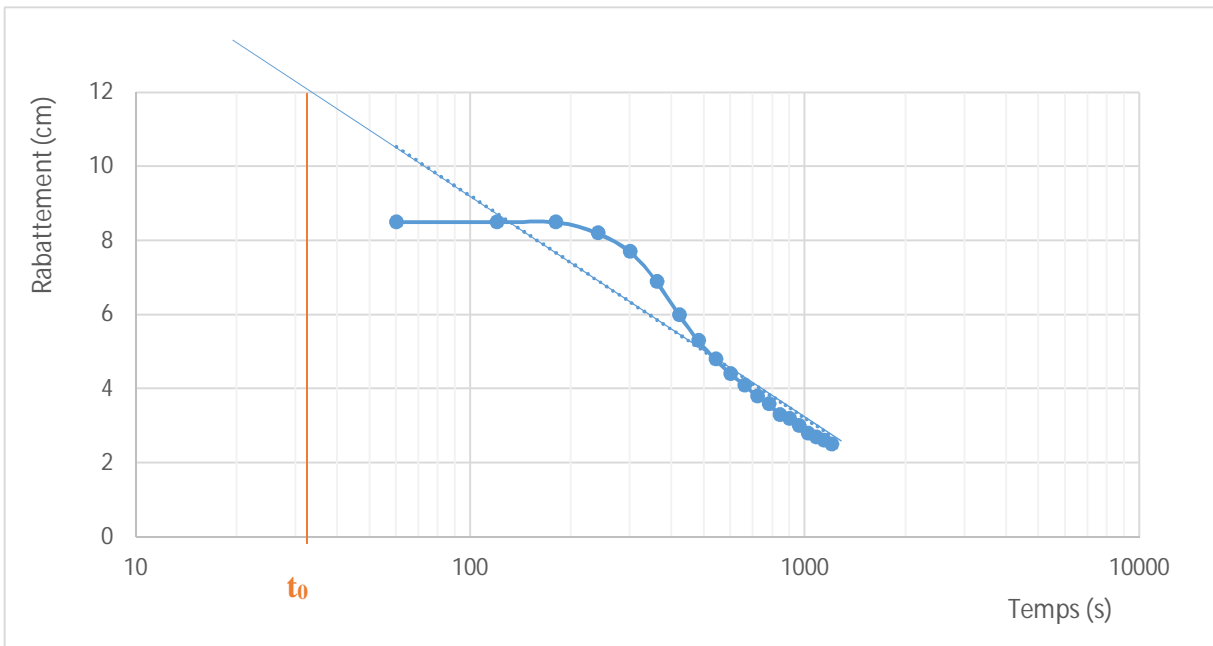
**Fig. n° 1 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P4 pour la formation sable – gravier.**



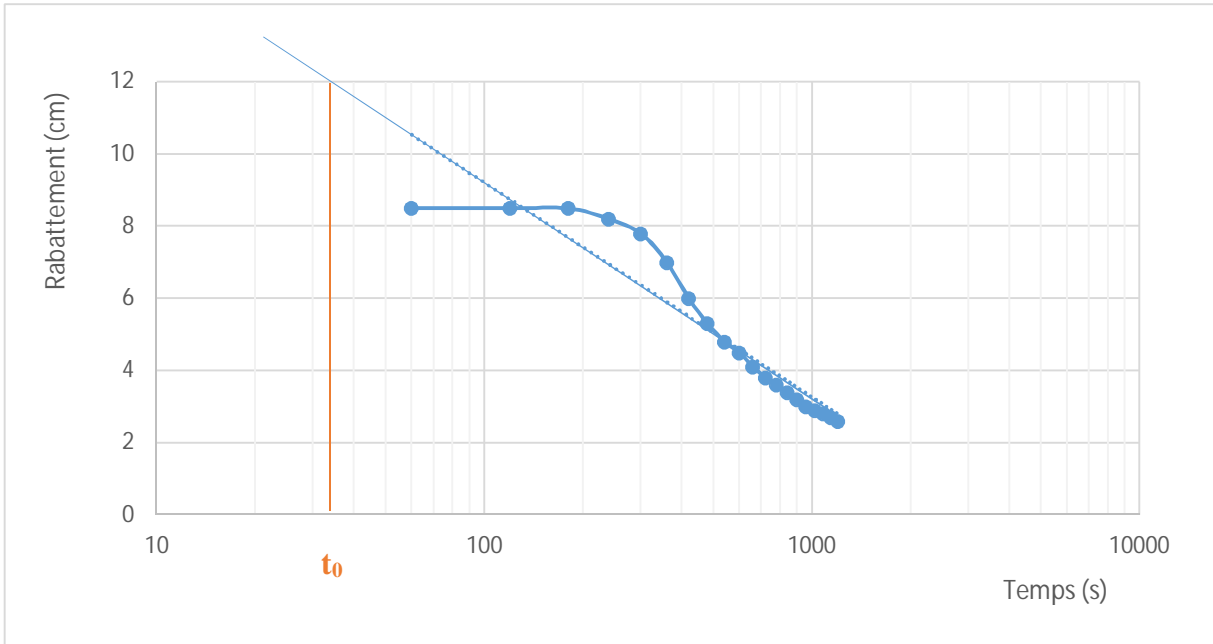
**Fig. n° 2 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P5 pour la formation sable – gravier.**



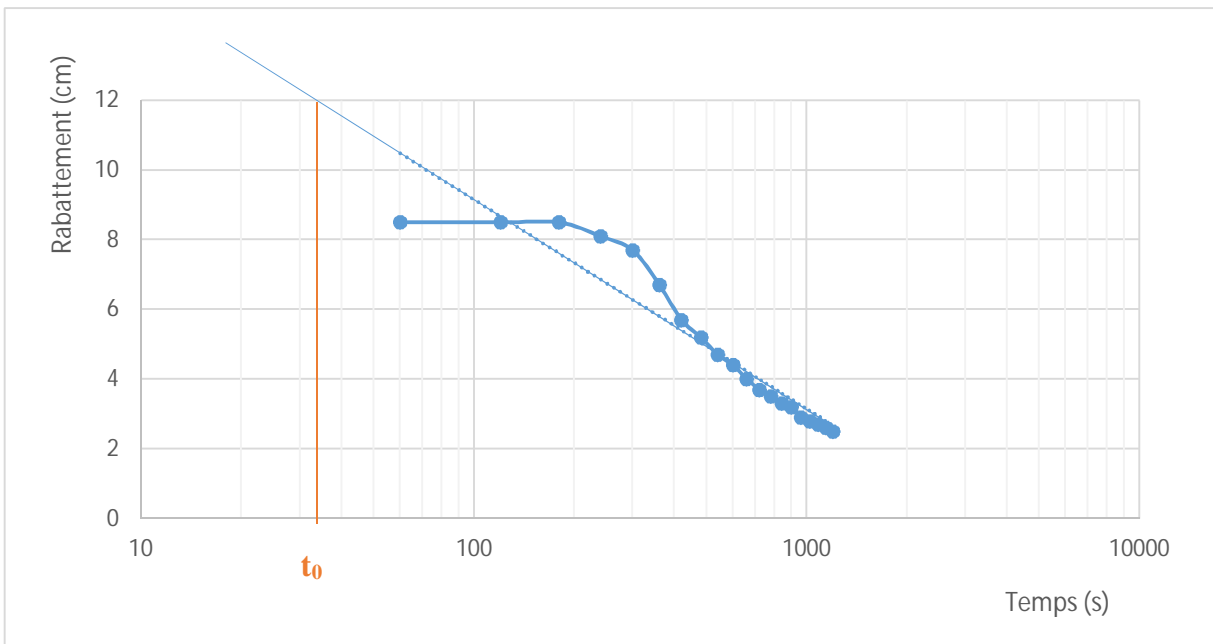
**Fig. n° 3 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P9 pour la formation sable – gravier.**



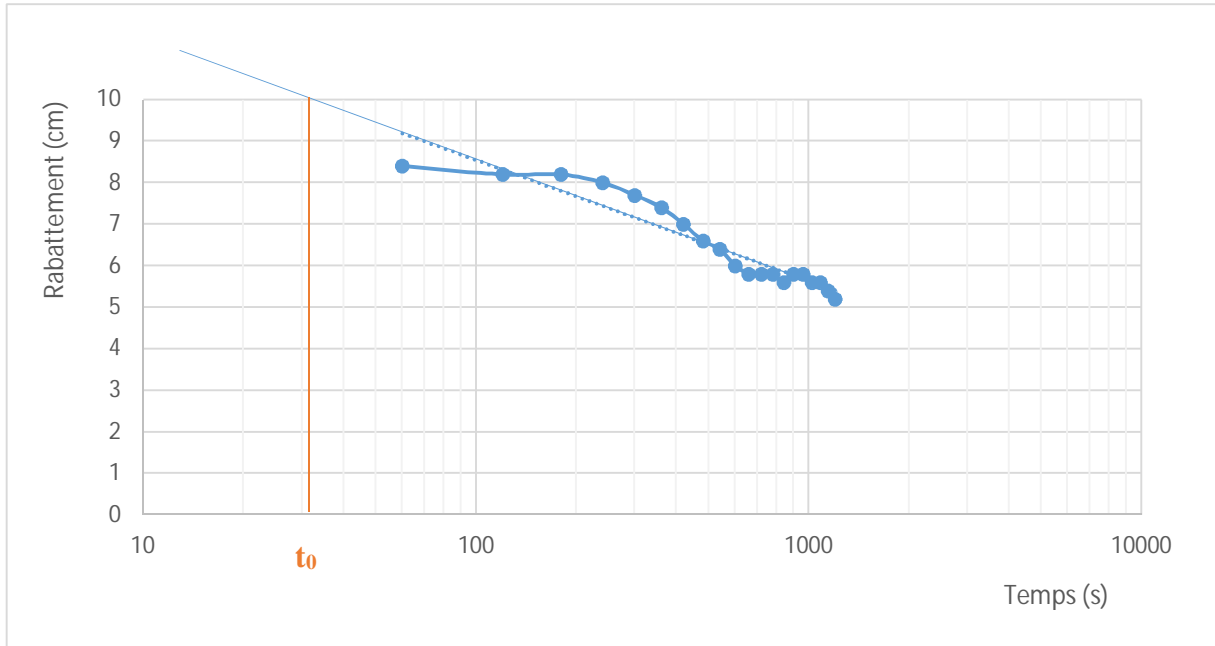
**Fig. n° 4 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P12 pour la formation sable – gravier.**



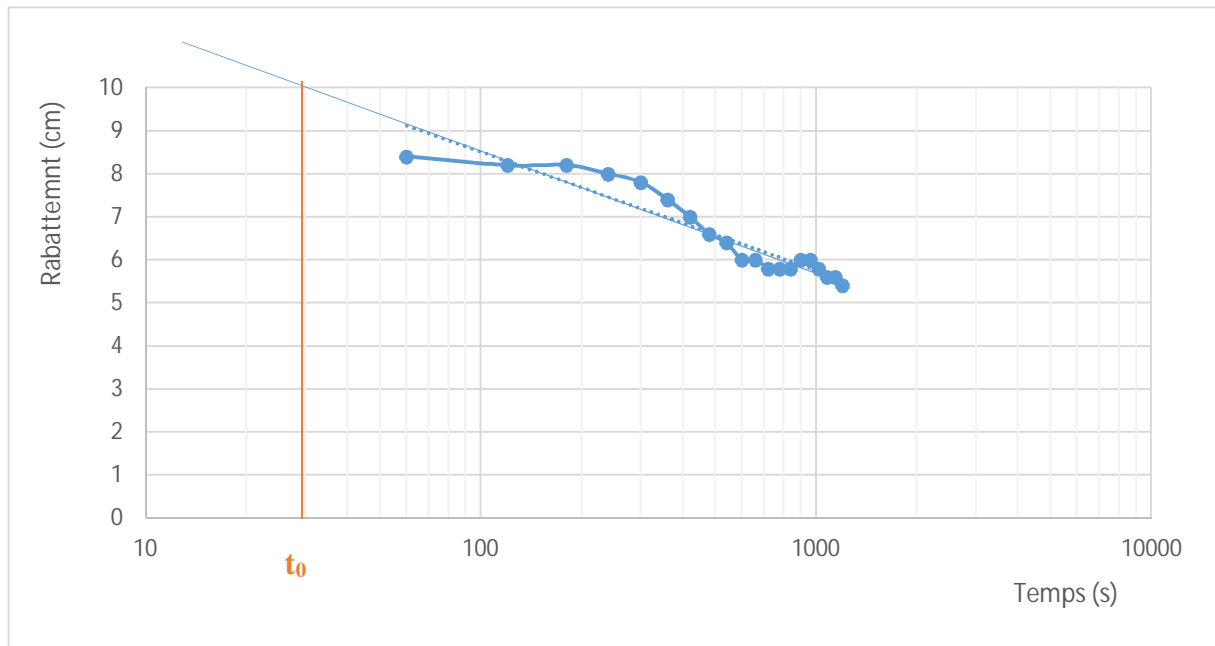
**Fig. n° 5 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P13 pour la formation sable – gravier.**



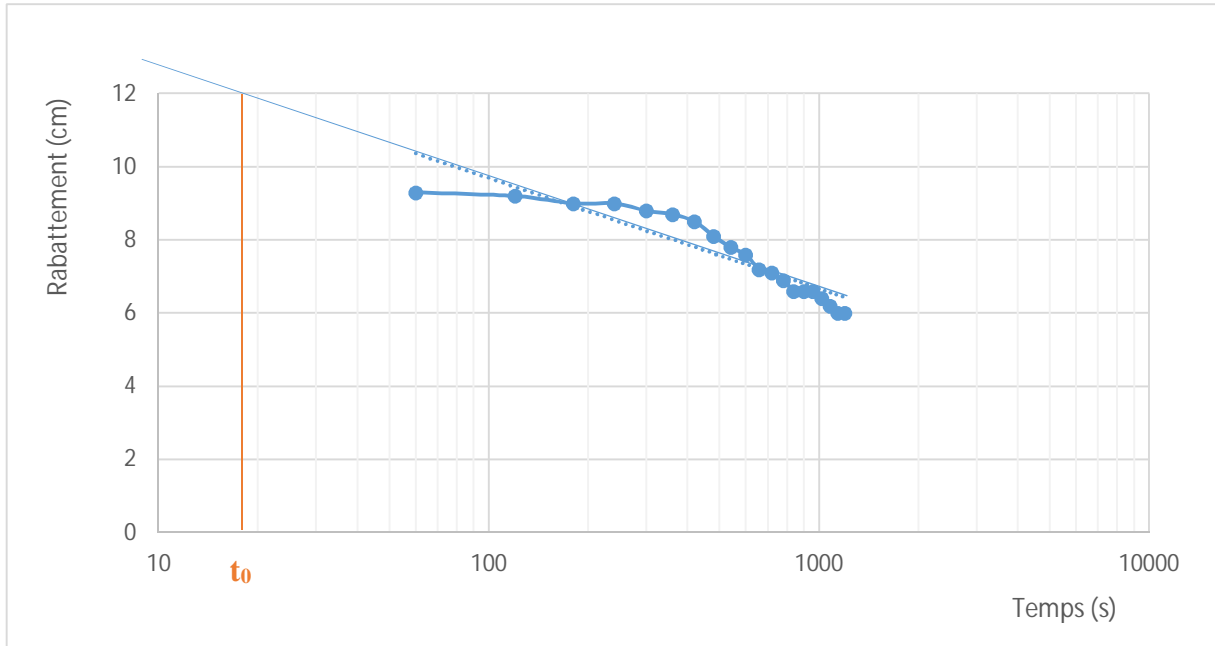
**Fig. n° 6 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P16 pour la formation sable – gravier.**



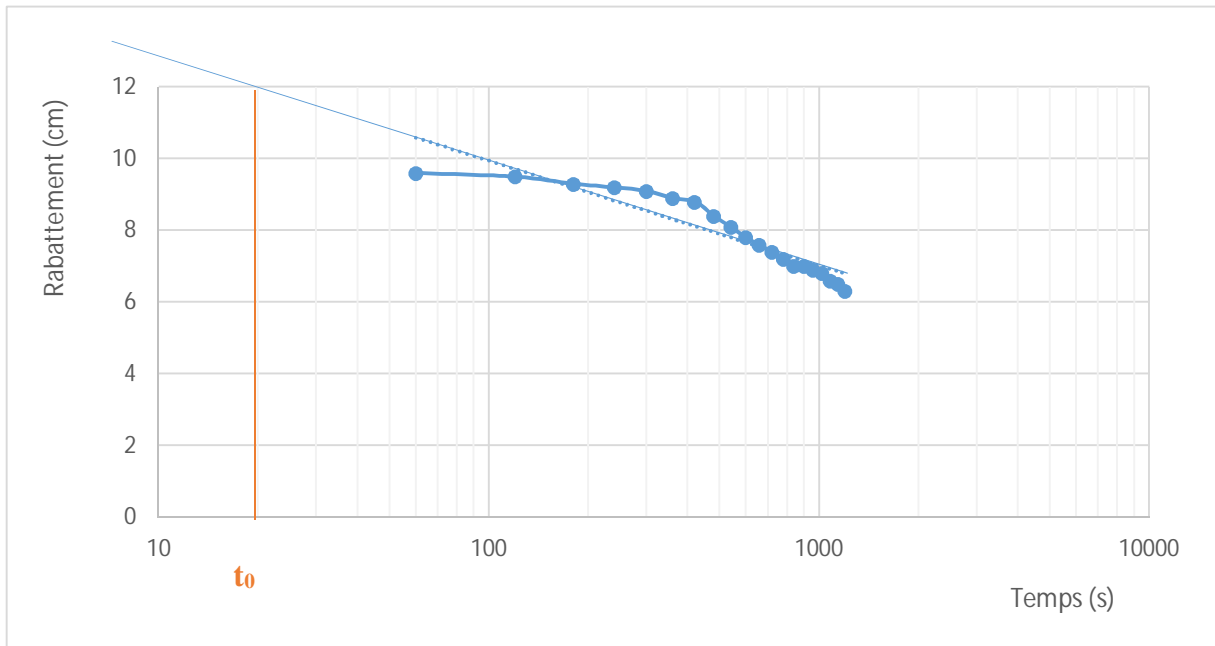
**Fig. n° 7 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P4 pour la formation gravier – sable.**



**Fig. n° 8 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P5 pour la formation gravier – sable.**

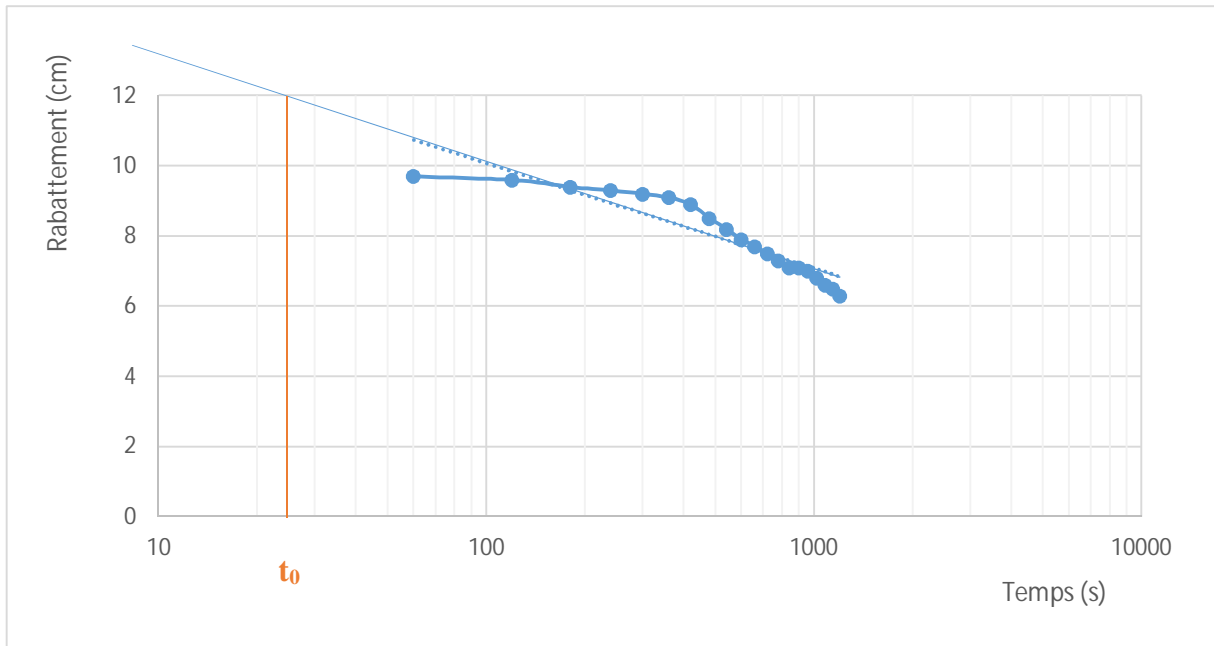


**Fig. n° 9 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P9 pour la formation gravier – sable.**

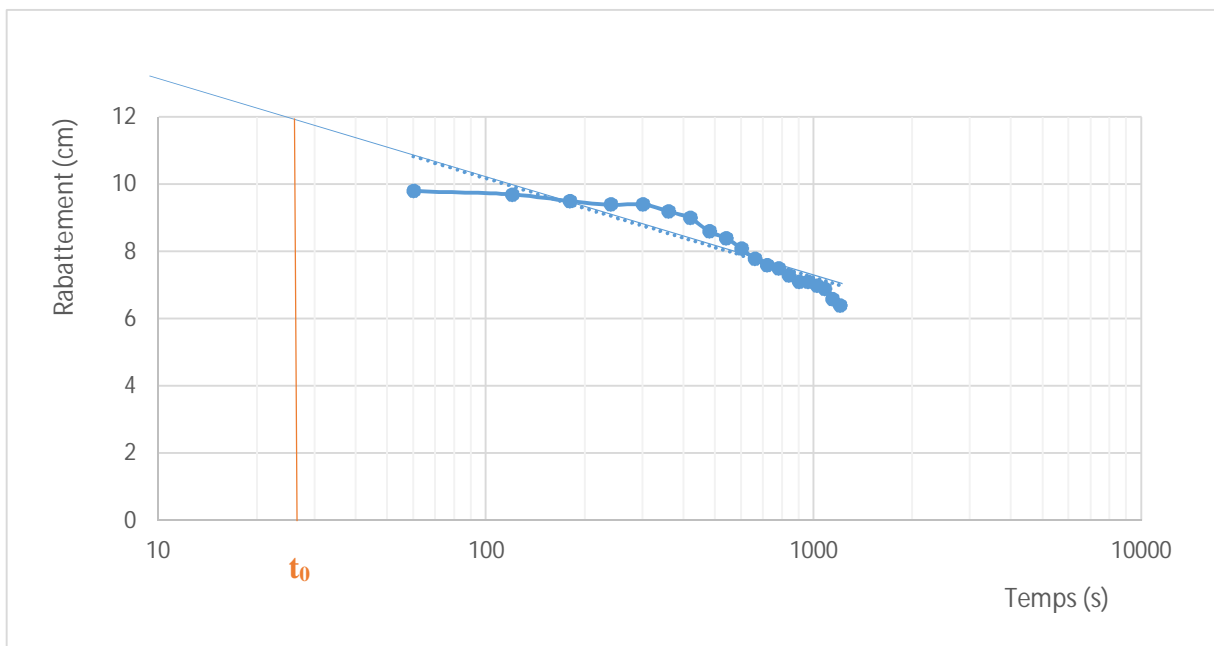


**Fig. n° 10 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P12 pour la formation gravier – sable.**

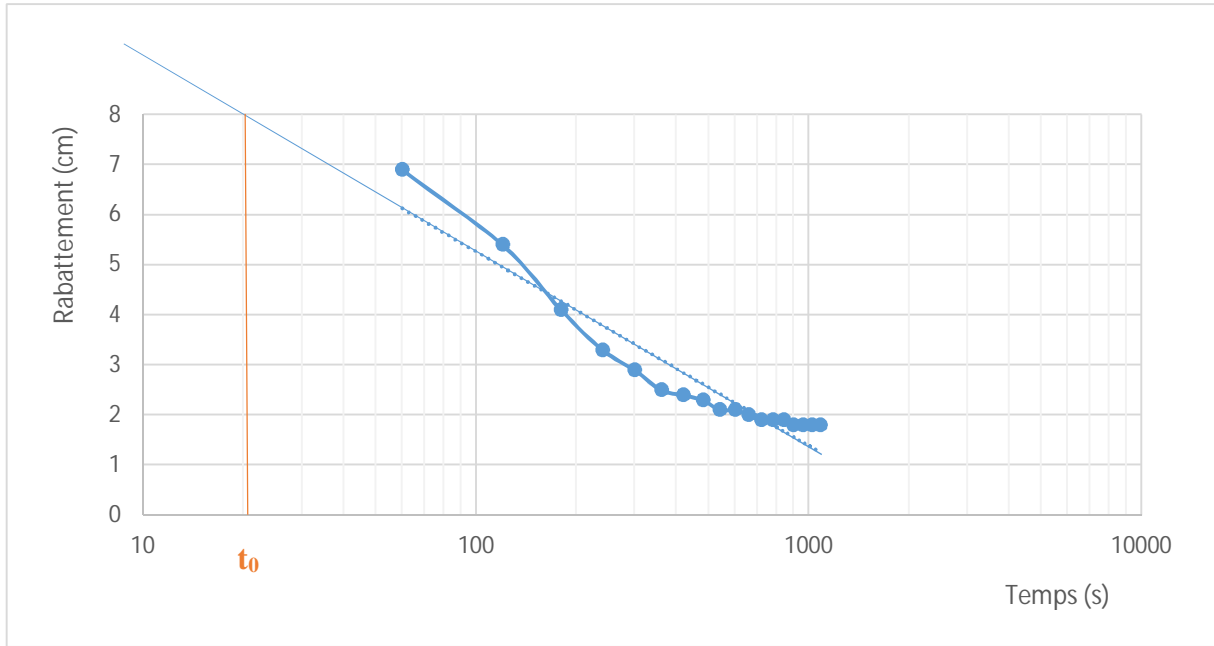




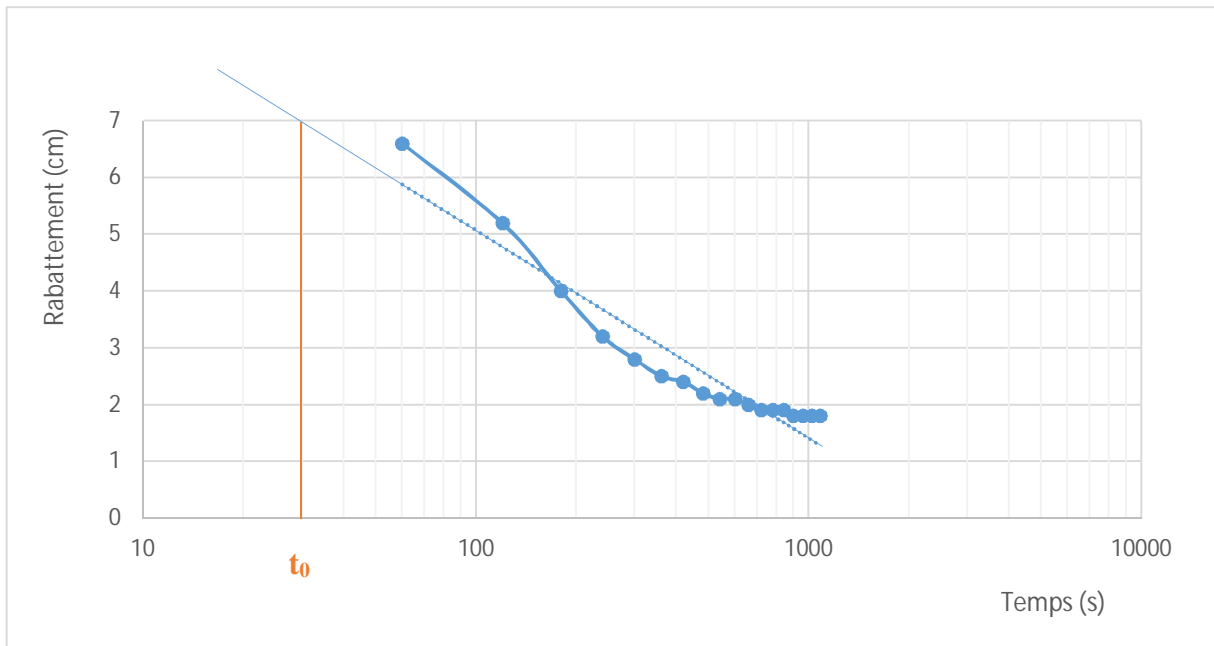
**Fig. n° 11 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P13 pour la formation gravier – sable.**



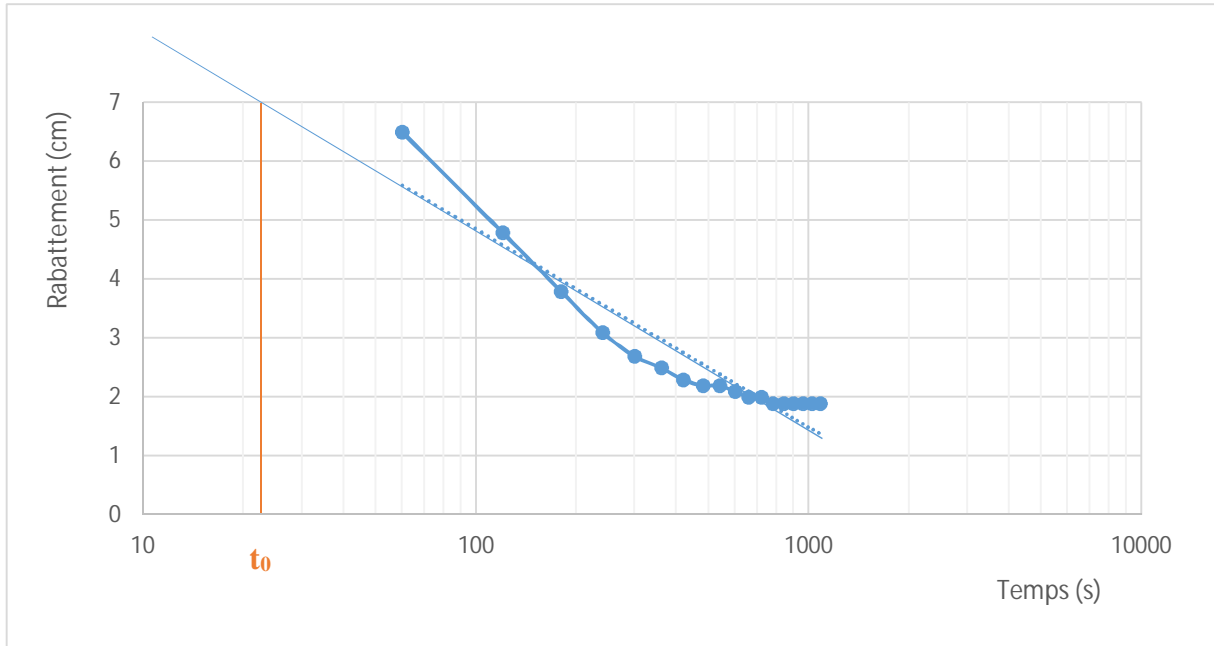
**Fig. n° 12 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P16 pour la formation gravier – sable.**



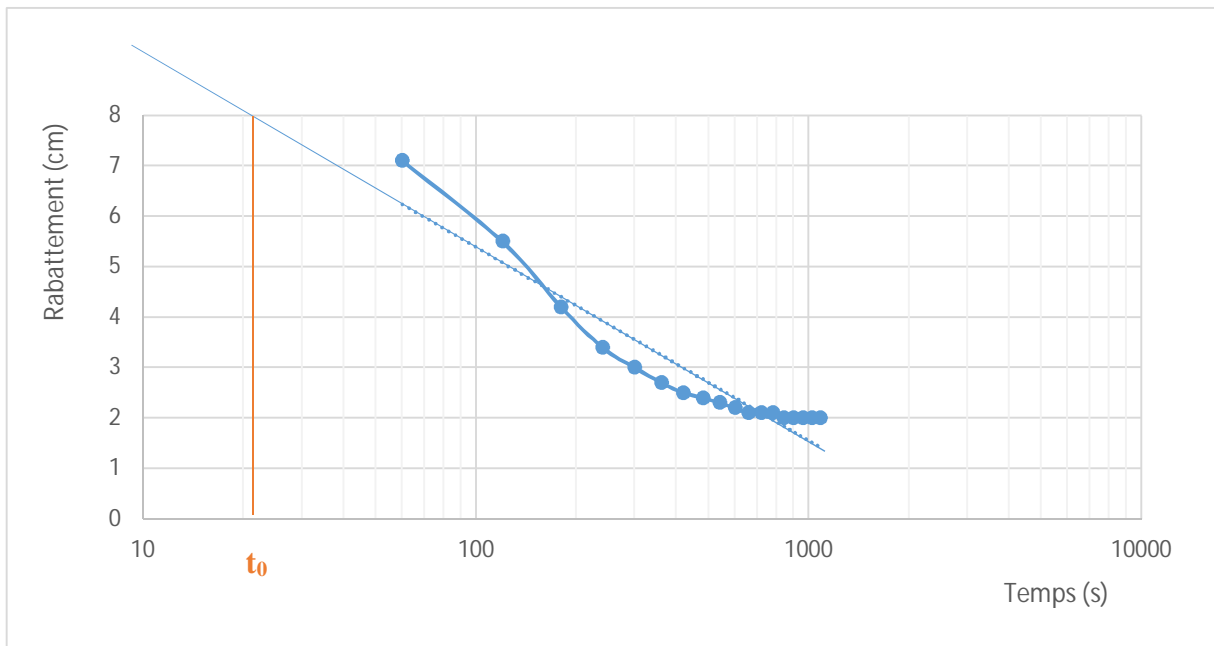
**Fig. n° 13 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P4 pour la formation multicouches.**



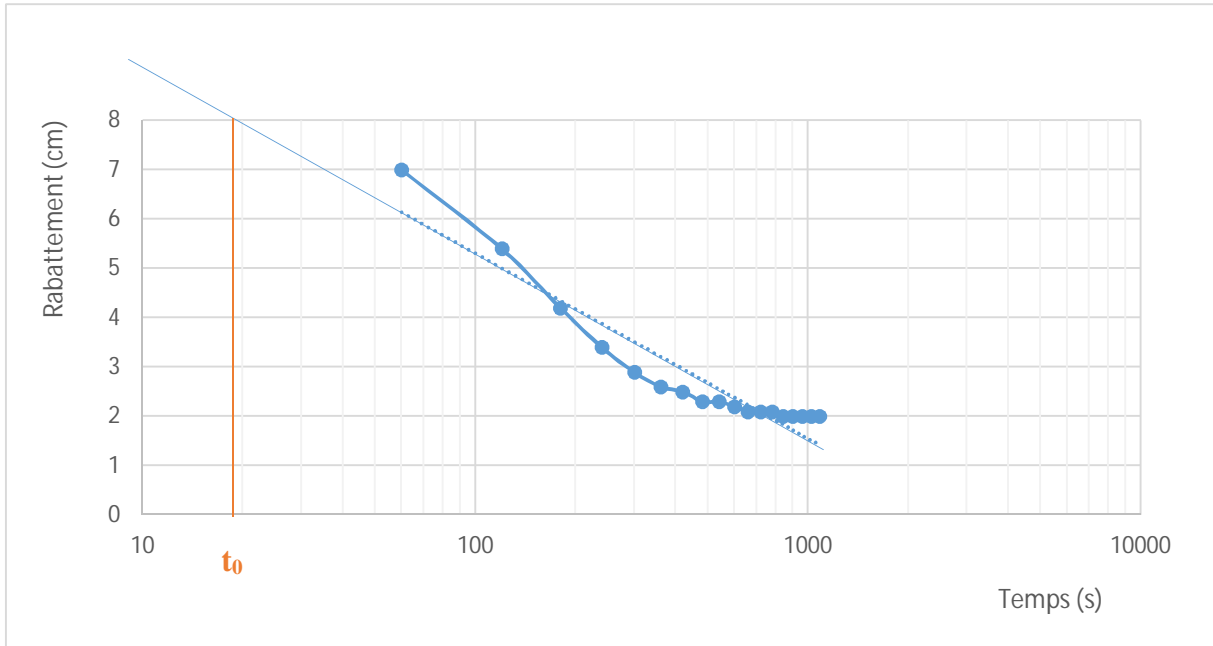
**Fig. n° 14 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P5 pour la formation multicouches.**



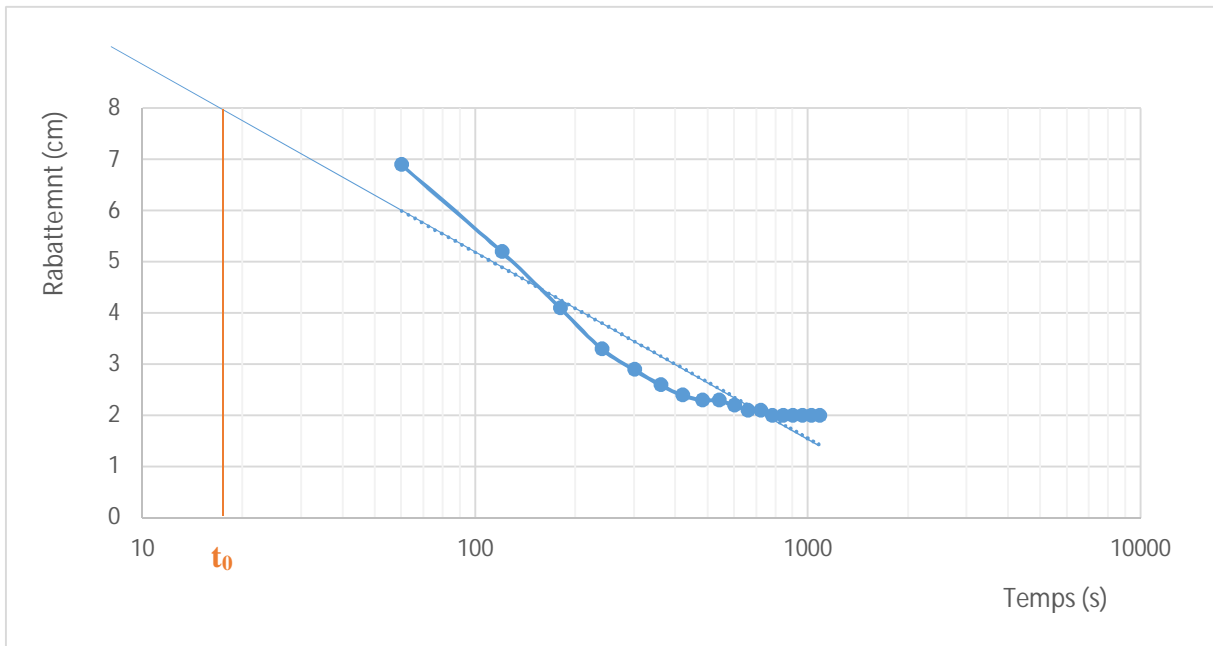
**Fig. n° 15 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P9 pour la formation multicouches.**



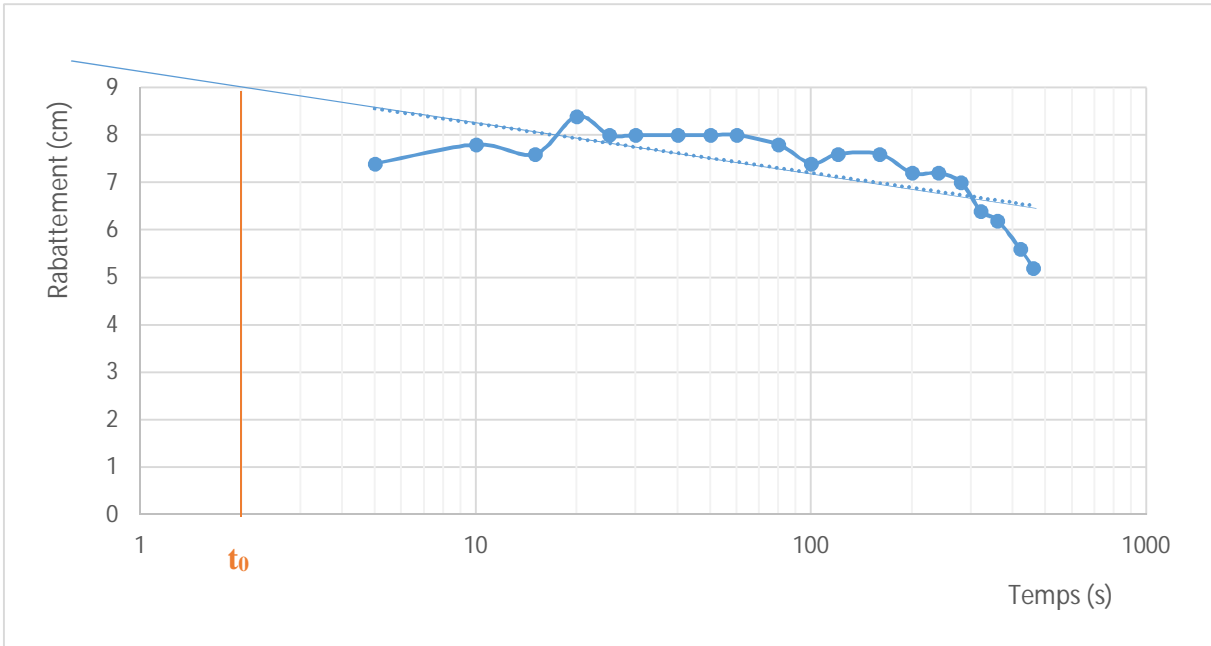
**Fig. n° 16 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P12 pour la formation multicouches.**



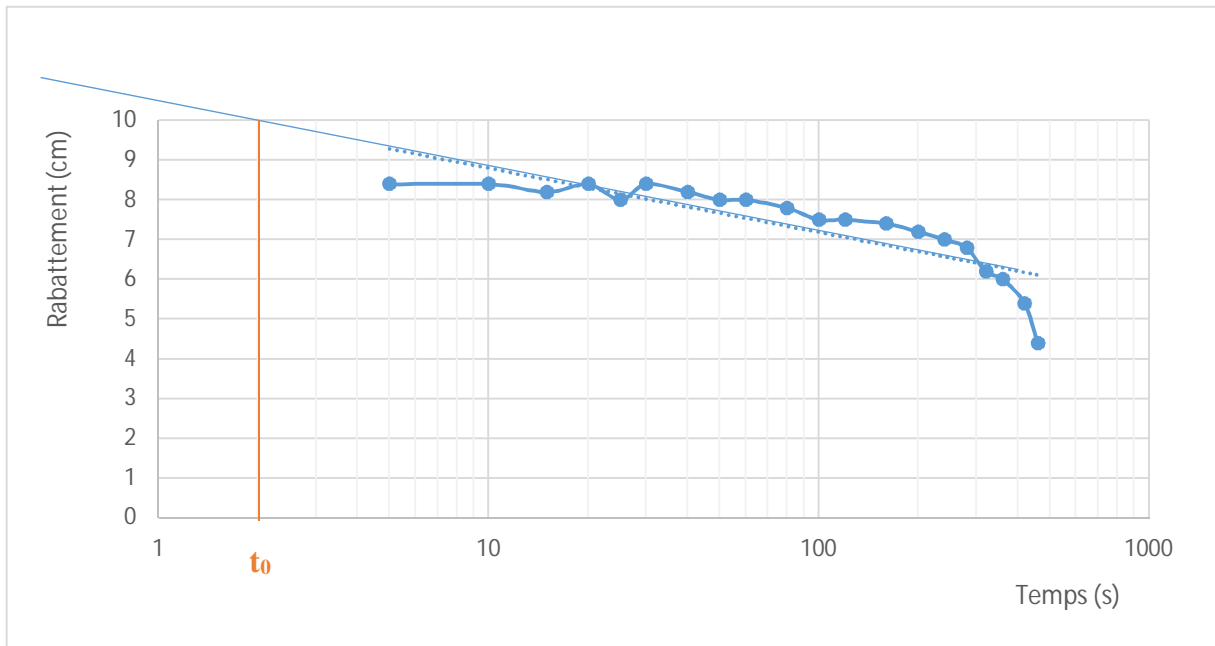
**Fig. n° 17 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P13 pour la formation multicouches.**



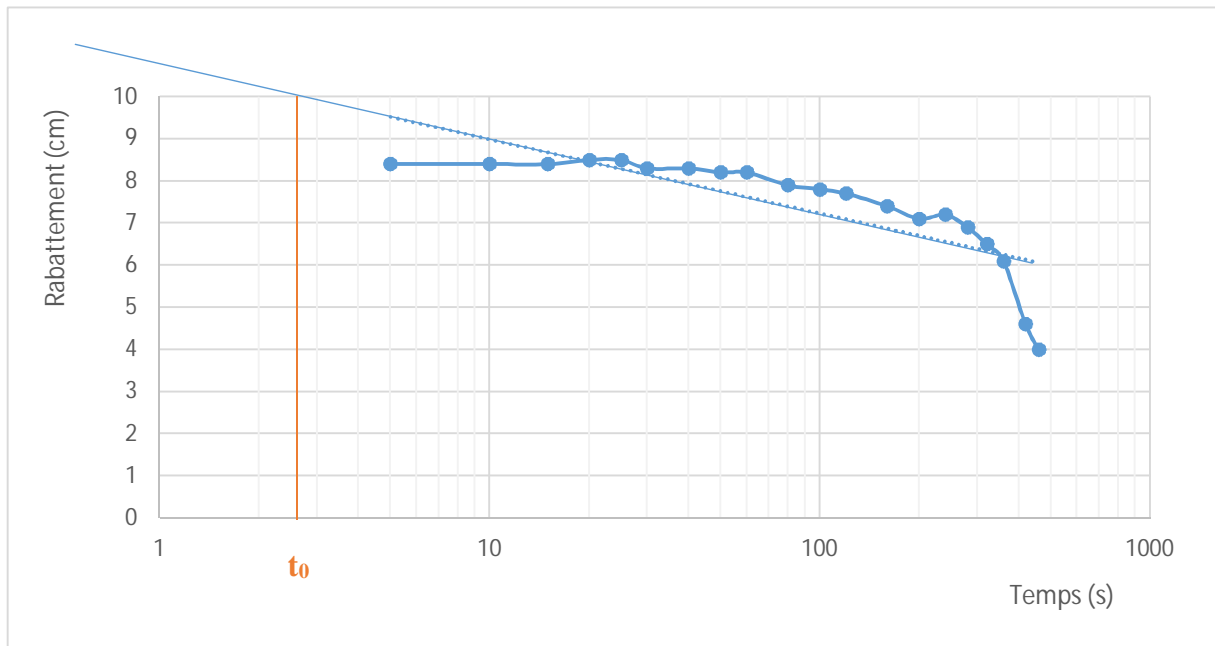
**Fig. n° 18 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P16 pour la formation multicouches.**



**Fig. n° 19 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P4 pour la formation mélange.**



**Fig. n° 20 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P9 pour la formation mélange.**



**Fig. n° 21 : Courbes de l'essai de pompage long durée (descente) au piézomètre observé P12 pour la formation mélange.**

# RESUME

Le but de notre projet de fin d'études est de contribuer à la compréhension du fonctionnement hydrologique d'un aquifère à nappe libre (phréatique) sur un modèle réduit. Ce dernier est constitué d'un banc d'essai destiné à l'étude du comportement hydrodynamique des matériaux étudiés (sable, gravier et argile gréseuse).

Ensuite, la détermination des paramètres d'un aquifère, la perméabilité (extraite de l'analyse granulométrique, du perméamètre et du banc d'essai), la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement (par des essais hydrodynamiques), avec une application des lois de DARCY, THEIS et JACOB.

Les essais effectués sur les formations permettent d'analyser de façon quantitative les propriétés hydrauliques telles que le coefficient d'emmagasinement (S) et la transmissivité (T). Les résultats obtenus confirment que le gravier ( $T = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{m}^2/\text{s}$ ) peut transmettre l'eau plus que le sable ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ), par contre, ce dernier peut emmagasiner l'eau plus que le gravier, les coefficients d'emmagasinement sont respectivement  $1,53 \cdot 10^{-2}$  et  $6,45 \cdot 10^{-4}$ .

Les différentes expériences ont mis en évidence l'importance du gravier et du sable qui peuvent être utilisés comme filtre dans les stations de traitement et d'épuration.

Mots clés : Banc d'essai – porosité - perméabilité - nappe libre - régime permanent - essai de pompage - décharge – écoulement – hydrodynamique.

---

# ABSTRACT

The aim of our final project is to contribute to the understanding of the hydrological functioning of an unconfined aquifer (phreatic) to a reduced model. The latter consists of a bench for test designed for studying the hydrodynamic behavior of the studied materials (sand, gravel and the sandstone clay).

In addition to this, the determination of the parameters of an aquifer, permeability (extracted from the particle size analysis, the permeameter and from the bench for test), the transmissivity and the storage coefficient (by hydrodynamic tests), with the application of DARCY, THEIS and JACOB laws.

Tests carried out on the training helps to analyze quantitatively the hydraulic properties such as storage coefficient (S) and the transmissivity (T). The results confirm that the gravel ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ) can pass the water over the sand ( $T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$ ), by against, it can store more water that gravel, storage coefficients are  $1,53 \cdot 10^{-2}$  and  $6,45 \cdot 10^{-4}$  respectively.

The different experiences have highlighted the importance of gravel and sand that can be used as a filter in treatment and purification plants.

Keywords: Test bench – permeability - porosity - water table - steady - pumping test - discharge - flow - hydrodynamics.