



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE

## MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE SCIENCE TE TECHNIQUE

FILIERE HYDRAULIQUE

OPTION OUVRAGES HYDRAULIQUES

### THEME

**Etude expérimentale du potentiel d'infiltration  
dans le bassin versant de Medjaz Ressoul**

### PRESENTE PAR

GHAOUTI Nadjib

GHENAI Abdenour

### JURY DE SOUTENANCE

<b>Dr. LAKEHAL Moussa</b>	PRESIDENT	M.C.A	Univ. Badji Mokhtar-Annaba
<b>Dr. HACHEMI RACHEDI Lamia</b>	EXAMINATEUR	M.C.B.	Univ. Badji Mokhtar-Annaba
<b>Dr. BOUSLAH Soraya</b>	EXAMINATEUR	M.C.B.	Univ. Badji Mokhtar-Annaba
<b>Dr. BOUTAGHANE Hamouda</b>	PROMOTEUR	M.C.A	Univ. Badji Mokhtar-Annaba
<b>M<sup>me</sup> DAHAK-BOUAZIZI Asma</b>	CO-PROMOTEUR	Doctorante	Univ. Badji Mokhtar-Annaba

**Promotion : Juin 2019**

## Table des matières

1	ملخص.....	7
2	ABSTRACT.....	7
3	RESUME.....	7
4	Dédicace.....	8
5	Introduction Générale.....	9
6	Chapitre 1 : infiltration dans le sol.....	10
6.1	Définition.....	10
6.2	Description de l'infiltration.....	10
6.3	Facteurs influençant l'infiltration.....	12
6.4	Importance d'infiltration.....	13
6.5	Technique de mesures.....	13
6.6	Méthode in situ.....	13
6.6.1	Essai de percolation.....	13
6.6.2	Comparaison des méthodes.....	17
7	Chapitre 2 : Zone d'étude.....	22
7.1	Description du milieu.....	22
7.1.1	Donné topographique.....	22
7.1.2	Relief et forme.....	23
7.1.3	Le réseau hydrographique.....	28
7.2	Topographie.....	29
7.3	Urbanisation du bassin versant.....	32
7.4	Agriculture dans le bassin versant.....	32
7.4.1	Aménagement hydroagricole.....	32
7.5	Géologie du bassin versant.....	34
7.6	Données hydro-pluviométriques.....	35
7.6.1	Caractéristique de la station.....	36
7.6.2	Pluviométrie.....	38
7.6.3	Débit.....	38
7.6.4	Température.....	39
7.6.5	Evapotranspiration (ETP).....	40
8	Chapitre 3 : Essai d'infiltration sur le bassin versant de Madjez Ressoul.....	41
8.1	Introduction.....	41
8.2	Description de l'infiltromètre.....	41
8.3	Objectifs attendus des essais.....	42

8.4	Déroulement des essais.....	42
8.5	Matériels utilisés.....	43
8.6	Déroulement de l'expérimentation .....	43
8.7	Les difficultés dans le travail.....	45
8.8	Présentation des points des essais.....	45
8.9	Présentation des résultats.....	46
9	Chapitre 4: Mesure de la teneur en eau .....	77
9.1	Objectif.....	77
9.2	Mesure de la teneur en eau .....	77
9.2.1	Détermination à l'aide de l'appareil SPEEDY.....	77
9.2.2	Détermination au pycnomètre (Méthode des pesées).....	79
9.2.3	Méthode par dessiccation à l'étuve .....	81
10	Conclusion générale .....	85
11	REFERENCE.....	85

## Table des Figures

<b>Figure 1</b> ; Composantes du perméamètre de Guelph (Eijkelkamp Agrisearch Equipment (EAE), 2011) .....	14
<b>Figure 2</b> infiltromètre a Mini-disk.....	16
<b>Figure 3</b> : Délimitation du bassin versant de Medjaz Ressoul Ain Berda.....	23
<b>Figure 4</b> : courbe hypsométrique d'oued Ressoul Ain Berda Annaba.....	27
<b>Figure 5</b> : les étapes préliminaires de la modélisation d'un réseau hydrographique. (tiré de (Trépanier 2009).....	28
<b>Figure 6</b> : Les étapes de la délimitation du bassin versant à l'aide de l'extension arc hydro Tools.....	29
<b>Figure 7</b> : Répartition d'altitude du bassin de Madjez Ressoul .....	30
<b>Figure 8</b> : Carte des pentes du bassin de Medjaz Ressoul.....	31
<b>Figure 9</b> : Récapitulative du comportement du bassin du bassin versant de Medjaz Ressoul	31
<b>Figure 10</b> : Représentation 3D des zones urbaine dans le bassin versant de Medjez Ressoul.	32
<b>Figure 11</b> : Les différents bassins des retenues collinaires du bassin de Medjez Ressoul Ain Berda. ....	33
<b>Figure 12</b> : Carte géologique de la ville d'Annaba tirée de : (Djabri, A.Hani et al. 2003) .....	35
<b>Figure 13</b> : vue en plan de la station hydrométrique Ain Berda.....	36
<b>Figure 14</b> : Vue en plan du raccordement d'oued Ressoul avec l'Oued de la Seybouse. ....	36
<b>Figure 15</b> : Plan de situation d'oued Ressoul Ain Berda (Jaccon 1986).....	37
<b>Figure 16</b> : Seuil-jaugeur parshall de la station d'oued Ressoul (Jaccon, 1986).....	37
<b>Figure 17</b> : Traçage du jaugeage parshall (Jaccon 1986). ....	38
<b>Figure 18</b> : La variation de la pluie journalière totale et le débit journalier moyen observé sur la période 1973-2003 de la station d'Ain Berda. ....	39
<b>Figure 19</b> : la variation de l'évapotranspiration potentielle journalière estimée par la méthode (Oudin 2004) à la station d'Ain Berda sur la période 1973-2003.....	40
<b>Figure 20</b> : Niveau maçon et marteau pour l'implémentation de l'infiltromètre.....	43
<b>Figure 21</b> : Boîtes et sac pour le prélèvement de l'échantillon du sol .....	43
<b>Figure 22</b> : application téléphonique contient un GPS.....	44
<b>Figure 23</b> : Règle et seaux de 6L (plus de 100L pour chaque point).....	44
<b>Figure 24</b> : Etapes et matériels utilisés pour l'implémentation de l'infiltromètre double anneaux.....	45

<b>Figure 25</b> : Localisation des points retenus aux essais d'infiltration .....	46
<b>Figure 26</b> : Equation de l'ajustement de $\ln (f_p-f_c)$ en fonction du temps. ....	48
<b>Figure 27</b> : Courbe du taux d'infiltration initiale et de la profondeur cumulative d'infiltration. .....	48
<b>Figure 28</b> : Valeurs du coefficient de décroissance d'Horton pour le bassin versant de Madjez Ressoul. ....	52
<b>Figure 29</b> : : appareil speedy .....	78
<b>Figure 30</b> : Matériel utilisé au laboratoire pour mesurer le teneur en eau .....	82
<b>Figure 31</b> : échantillons de 100 g de sol humide.....	82
<b>Figure 32</b> : l'échantillons des sols humide d'une quantité de 100 g.....	82
<b>Figure 33</b> : l'échantillons de sol humide dans l'Etuve .....	83
<b>Figure 34</b> : Teneur en eau du sol au bassin versant de Madjez Ressoul en%. ....	84

## Table des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Principales fonctions d'infiltration utilisées (D'après Jatou, 1982).....	21
<b>Tableau 2</b> : Correspondance valeur de $K_c$ et type de réponse attendue.....	24
<b>Tableau 3</b> : types des reliefs classés par rapport à la dénivelée spécifique.....	25
<b>Tableau 4</b> : les paramètres de relief du bassin de Medjez Ressoul Ain Berda. ....	26
<b>Tableau 5</b> : Répartition des surfaces cumulées en fonction des altitudes .....	26
<b>Tableau 6</b> : les paramètres de relief du bassin de Medjez Ressoul Ain Berda. ....	27
<b>Tableau 7</b> : Altitude du bassin versant de Medjez Ressoul Ain Berda. ....	27
<b>Tableau 8</b> : Paramètres hydrographiques du bassin de Medjez Ressoul Ain Berda. ....	28
<b>Tableau 9</b> : Classes d'altitudes du bassin de Medjez Ressoul. ....	30
<b>Tableau 10</b> : surfaces et périmètres des communes appartiennent au bassin versant.....	32
<b>Tableau 11</b> : Description des retenues collinaires existantes dans Medjez Ressoul.....	33
<b>Tableau 12</b> : Classification des surfaces agricoles de ma région d'Ain Berda.....	34
<b>Tableau 13</b> : Type de production animal à la commune d'Ain Berda. ....	34
<b>Tableau 14</b> : Récapitulatif des données collectées dans le bassin versant .....	35
<b>Tableau 15</b> : caractéristiques d'un des points retenus.....	46
<b>Tableau 16</b> : Etapes de calculs de la capacité d'infiltration dans le temps. ....	47
<b>Tableau 17</b> : Paramètres de l'équation d'infiltration d'Horton. ....	47
<b>Tableau 18</b> : Coefficient de diminution exponentiel d'infiltration, fonction de la teneur en eau. ....	49

**Tableau 19** : Paramètre d'Horton pour les 25 points retenus au calcul. .... 50  
**Tableau 20** : Valeur d'infiltration initiales et finale à un pas de temps égale à 2min. .... 51  
**Tableau 21** : calcule de la teneur en eau en pourcentage (%) ..... 83

يعتبر عامل الرشح لمياه السطح الارض من اهم العوامل التي تتحكم في تشكل الاحواض المائية والاوودية بالإضافة الى حجمها وذلك حسب طبيعة التربة ودرجة انحدارها وهنا لك العديد من العلماء عملوا على هذه الظاهرة واستخراج معادلات لحسابها في هذا البحث طبقنا نظرية الرشح الكلاسيكية لهورتن باستعمال حلقة مزدوجة الرشح على حوض مجاز الغسول ذا المساحة 103 كم<sup>2</sup> باستخدام العوامل الاتية: معدل التسلل الابتدائي اعتمادا بشكل رئيسي على نوع التربة ومعدل التسلل النهائي وحساب الوقت منذ بداية هطول الامطار. هذه النتائج سيتم استعمالها لاحقا في النمذجة الهيدرولوجية

**الكلمات المفتاحية:** الرشح، حلقة مزدوجة الرشح، نسبة الماء في التربة، حوض مجاز غسول

## 2 ABSTRACT

---

The infiltration of water to the surface of the earth is one of the most important factors that control the formation of water basins and wadis in addition to their size, depending on the nature of the soil and the degree of slope. Here many scientists have worked on this phenomenon and extracted equations for its account

In this case, we applied the classical lattice of Horton using a double-infiltration loop on the 103 km<sup>2</sup> licorice basin the Medjaz Rassoul using the following factors: Primary infiltration rate, depending mainly on soil type, final infiltration rate and time calculation since rainfall onset. the results will be used in future hydrologic modeling

**Keywords.:** infiltration double ring infiltrmètre, water content, Medjaz Rassoul Catchment

## 3 RESUME

---

L'infiltration d'eau à la surface de la Terre est l'un des processus hydrologiques les plus importants qui contrôlent la formation des bassins hydrographiques et des oueds, en plus de leur taille, en fonction de la nature du sol et du degré de pente. De nombreux scientifiques ont travaillé sur ce phénomène et en ont extrait des équations.

Dans ce cas, nous avons appliqué la formule classique de Horton en utilisant Infiltrmètre à double anneaux sur le bassin de Medjaz Rassoul de 103 km<sup>2</sup>. Nous avons pu déterminer les paramètres suivants : Taux d'infiltration primaire, dépendant principalement du type de sol, du taux d'infiltration final et du temps écoulé depuis le début des précipitations. Ces résultats vont servir dans une future modélisation hydrologique

**Mots-clés :** infiltration, infiltrmètre a double anneaux, teneur en eau, BV Medjaz Rassoul

## **4 Dédicace**

---

*A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

*A mes chères sœurs ..... pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,*

*A mes chers frères, ..., pour leur appui et leur encouragement,*

*A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

*Notre vif remerciement à notre encadrant **Mr. Boutaghane Hamouda**, et Co-encadrant **Mme. Dahak Asma** pour leur aide et leurs encouragements qu'ils n'ont cessé de nous*

## **5 Introduction Générale**

---

L'infiltration est le plus important des processus de production, le plus déterminant dans la modélisation hydrologique. Sa détermination conditionne toute forme de modélisation pluie-débit. L'étude de l'infiltration a pris une importante place dans tous les manuels hydrologiques.

Ce travail de master s'inscrit dans le travail de thèse de doctorat de Mme DAHAK-BOUAZZIZI Asma, sur la modélisation hydrologique des bassins versants algériens.

Le travail est dédié à l'étude expérimentale du potentiel d'infiltration dans le bassin versant de Medjaz Ressoul, durant plusieurs mois, des séries d'expérimentations in-situ ont été faites. Aussi en même temps des mesures de la teneur en eau du sol ont été effectuées.

Ce mémoire est organisé en quatre chapitres : Le premier chapitre concerne l'étude bibliographique de l'infiltration dans le sol. Le second chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, le troisième chapitre au essai d'infiltration sur le bassin versant de Medjaz Ressoul, et le quatrième chapitre à la mesure de la teneur en eau. A la fin on termine par une conclusion.

## **6 Chapitre 1 : infiltration dans le sol**

---

### **6.1 Définition**

Une infiltration, en hydrologie et en mécanique des fluides, qualifie un mouvement graduel d'un fluide, tel que l'eau, à travers une roche poreuse ou un sol ou tout revêtement peu perméable. L'infiltration désigne le processus de pénétration des précipitations dans le sol; c'est un sous-processus important du cycle de l'eau. Les processus de connexion peuvent être la recharge de l'eau souterraine et la formation du ruissellement. La quantité d'infiltration est mesurée en unités de millimètres par seconde ou plus par minute. L'introduction d'eau de surface dans le sol par le biais de systèmes de gestion de l'eau s'appelle l'infiltration ou, dans le cas de lixiviats pollués, se produit également. Les infiltrations sont simplement des mouvements de l'eau pénétrant dans un milieu poreux à partir de la surface du sol. L'infiltration est significativement influencée par deux forces, la gravité et la capillarité ou le potentiel de la matrice. Les autres facteurs déterminants sont la température dans le sol, la saturation en eau du sol (pré-humidité), le degré de couverture (végétation) et l'intensité des précipitations. Ainsi, les sols sableux (63  $\mu\text{m}$  - 2 mm de taille de grain), avec des pores relativement grands et bien connectés et un grand volume de pores (30-45%) ont les taux d'infiltration les plus élevés. Comme la couverture végétale atténue l'impact des gouttes de pluie, elle prévient efficacement les boues superficielles des pores et crée des pores grossiers supplémentaires et bien aquifères à travers votre réseau racinaire. Ainsi, il a une influence clairement positive sur les propriétés d'infiltration d'un sol (les taux d'infiltration les plus élevés peuvent être enregistrés dans les sols forestiers).

### **6.2 Description de l'infiltration**

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion. L'infiltration influence de nombreux aspects de l'hydrologie, du génie rural ou de l'hydrogéologie. Afin d'appréhender le processus d'infiltration, on peut définir :

- Le régime d'infiltration  $i(t)$ , nommé aussi taux d'infiltration, qui désigne le flux d'eau pénétrant dans le sol en surface. Il est généralement exprimé en mm/h. Le régime d'infiltration dépend avant tout du régime d'alimentation (irrigation, pluie), de l'état d'humidité et des propriétés du sol.
- L'infiltration cumulative, notée  $I(t)$ , est le volume total d'eau infiltrée pendant une période donnée. Elle est égale à l'intégrale dans le temps du régime d'infiltration.

$$I(t) = \int_{t=t_0}^t i(t)dt \quad \text{Éq 1}$$

Avec :

$I(t)$  : infiltration cumulative au temps  $t$  [mm],

$i(t)$ : régime ou taux d'infiltration au temps  $t$  [mm/h]

- La conductivité hydraulique à saturation  $K_s$  est un paramètre essentiel de l'infiltration. Il représente la valeur limite du taux d'infiltration si le sol est saturé et homogène. Ce paramètre entre dans de nombreuses équations pour le calcul de l'infiltration.
- La capacité d'infiltration ou capacité d'absorption (ou encore infiltrabilité) représente le flux d'eau maximal que le sol est capable d'absorber à travers sa surface, lorsqu'il reçoit une pluie efficace ou s'il est recouvert d'eau. Elle dépend, par le biais de la conductivité hydraulique, de la texture et de la structure du sol, mais également des conditions aux limites, c'est à dire, la teneur en eau initiale du profil et la teneur en eau imposée en surface.
- La percolation désigne l'écoulement plutôt vertical de l'eau dans le sol (milieu poreux non saturé) en direction de la nappe phréatique, sous la seule influence de la gravité. Ce processus suit l'infiltration et conditionne directement l'alimentation en eau des nappes souterraines

. La pluie nette représente la quantité de pluie qui ruisselle strictement sur la surface du terrain lors d'une averse. La pluie nette est déduite de la pluie totale, diminuée des fractions interceptées par la végétation et stockée dans les dépressions du terrain. La séparation entre la pluie infiltrée et la pluie écoulé en surface s'appelle fonction de production.(Talatizi 2014)

## **6.3 Facteurs influençant l'infiltration**

L'infiltration est conditionnée par les principaux facteurs ci-dessous :

**Le type de sol** (structure, texture, porosité) : Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration. La compaction de la surface du sol est due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques et anthropiques) - L'utilisation de lourdes machines agricoles dans les champs peut par exemple avoir pour conséquence la dégradation de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur (sensible au labour).

**La couverture du sol** : La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance.

**La topographie et la morphologie** : La pente par exemple agit à l'opposé de la végétation. En effet, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.

**Le débit d'alimentation** (intensité de la précipitation, débit d'irrigation).

**La teneur en eau initiale du sol** (conditions antécédentes d'humidité) : L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol. Le régime d'infiltration au cours du temps évolue différemment selon que le sol est initialement sec ou humide. L'humidité d'un sol est généralement appréhendée en étudiant les précipitations tombées au cours d'une certaine période précédant un événement pluvieux. Les Indices de Précipitations Antécédentes (IPA) sont souvent utilisés pour caractériser les conditions d'humidité antécédentes à une pluie. Finalement, les facteurs les plus influents, pour une même topographie, sont le type de sol, sa couverture et son taux initial d'humidité. (Talatizi 2014).

## **6.4 Importance d'infiltration**

L'estimation de l'importance du processus d'infiltration permet de déterminer quelle fraction de la pluie va participer à l'écoulement de surface, et quelle fraction va alimenter les écoulements souterrains et donc aussi participer à la recharge des nappes souterraines.

## **6.5 Technique de mesures**

Il existe de nombreux types d'essais d'infiltration sur le terrain qui permettent de mesurer le taux d'infiltration dans un sol (ou des rejets miniers). L'objectif de ces essais est d'estimer le taux d'infiltration, d'évaluer l'écoulement de l'eau en milieu non saturé et d'en déduire la conductivité hydraulique en place. Différentes méthodes et échelles peuvent être utilisées. Par exemple, des essais à grande échelle peuvent impliquer la construction de bassins (Gamache-Rochette, 2004 ; Fala, 2008 ; Lessard, 2011). Des essais à petite et moyenne échelle peuvent être réalisés à l'aide de perméamètres et d'infiltromètres (Gamache-Rochette, 2004 ; Gribb et al., 2004 ; Dagenais, 2005 ; Gupta et al., 2006 ; Lessard, 2011). Les essais peuvent aussi être effectués à charges constantes ou variables. Plus la charge constante est maintenue longtemps, plus les conditions de l'essai se rapprochent des conditions saturées en surface et plus la vitesse d'infiltration tend vers la valeur de conductivité hydraulique saturée. Plusieurs facteurs (charge appliquée, profondeur d'enfoncement, rayon de l'anneau, etc.) peuvent influencer la mesure du taux d'infiltration. On distingue principalement trois types d'essais (Day et Daniel, 1985): les tests de percolation (A), l'infiltromètre à simple anneau et l'infiltromètre à double anneau. (Bréard Lanoix 2017).

## **6.6 Méthode in situ**

### **6.6.1 Essai de percolation**

L'essai de percolation consiste à forer un trou à la tarière dans le sol (profondeur et diamètre variables) et à le remplir d'eau (Day et Daniel, 1985). La variation du niveau de l'eau dans le trou en fonction du temps permet d'estimer le taux de percolation [ $T \cdot L^{-1}$ ] (temps requis pour que l'eau s'abaisse d'une hauteur donnée). Le perméamètre de Guelph peut être utilisé pour réaliser une variante de l'essai de percolation. L'instrument est installé dans le trou de forage

et permet de maintenir une charge constante. La vitesse d'infiltration est mesurée au cours de l'essai. Le perméamètre de Guelph peut être installé facilement à différentes profondeurs (Kanwar et al., 1989 ; Havlena et Stephens, 1992 ; Gribb et al., 2004). Les conductivités hydrauliques mesurées donneraient des résultats acceptables pour tous les types de sols (Eijkelkamp Agrisearch Equipment (EAE), 2011), mais montrent une meilleure précision avec des matériaux fins (Havlena et Stephens, 1992). Les composantes du perméamètre de Guelph sont présentées à la Figure 1.



**Figure 1** ; Composantes du perméamètre de Guelph (Eijkelkamp Agrisearch Equipment (EAE), 2011)

### **6.6.1.1 Infiltromètre à simple anneau**

L'infiltromètre à simple anneau permet d'obtenir des mesures directes de la capacité d'infiltration d'un sol en surface (Dingman, 1994). L'aire est délimitée par une frontière imperméable, constituée habituellement d'un anneau en plastique ou en métal. L'anneau est inséré à une profondeur de 5 à 10 cm dans le sol (Bouwer, 1995). L'essai se déroule d'abord en condition d'accumulation d'eau (condition of ponding), et une charge constante est appliquée et maintenue durant l'essai (Dingman, 1994).

La Figure présente de façon schématique l'avancée du front de mouillage pour des temps  $t_1$  à  $t_4$  [T] lors d'un essai avec un infiltromètre à simple anneau. La remontée de l'eau vers la surface est un risque avec cette méthode d'infiltration.

Dans un essai d'infiltration à simple anneau l'eau s'infiltrer verticalement et latéralement dans le sol sous l'effet des forces de gravité et de capillarité (Dingman, 1994). Il est généralement recommandé d'utiliser un anneau de plus grand diamètre, pour diminuer l'influence des écoulements horizontaux dans le sol autour de l'anneau (Bouwer, 1995 ; Fala, 2008). On peut aussi utiliser un infiltromètre à double anneau (voir la section suivante) pour obtenir un résultat plus réaliste et représentatif du taux d'infiltration vertical. Si l'anneau est enfoncé à travers l'épaisseur totale de la couche de sol, l'écoulement se fera de façon unidimensionnelle dans ce matériau. (Bréard Lanoix 2017).

### **6.6.1.2 Infiltromètre à double anneaux**

L'infiltromètre à double anneau est composé de deux anneaux concentriques métalliques. La taille des anneaux peut varier, mais le diamètre de l'anneau interne est généralement inférieur à 20 cm et celui de l'anneau externe excède rarement 50 cm (Day et Daniel, 1985). Le diamètre de l'anneau interne et externe utilisé dans ce projet était de 30 et 60 cm.

La charge dans l'anneau interne et dans la zone entre les deux anneaux est maintenue constante et égale. L'eau contenue dans l'anneau central s'infiltrer principalement verticalement et les écoulements horizontaux sont limités par l'infiltration de l'eau dans l'anneau externe. Les mesures d'infiltrations dans l'anneau interne sont donc plus représentatives d'un taux d'infiltration vertical (Dingman, 1994).

### **6.6.1.3 Infiltromètre à mini-disk**

L'essai d'infiltromètre à disque est un essai qui permet de déterminer des propriétés des sols non saturés, notamment la conductivité hydraulique du sol. Le dispositif d'essai, infiltromètre à disque, est aussi appelé infiltromètre à tension prédéfinie ou encore, infiltromètre à membrane.

Le principe consiste à imposer de manière contrôlée le potentiel hydrique  $h$  sur la surface du sol et à mesurer le flux (ou le débit) hydrique par l'évolution du niveau d'eau dans le tube réservoir. L'eau, à une pression de succion donnée au niveau de la surface du sol, s'infiltré donc dans le sol à travers une membrane dont la porosité est parfaitement calibrée.

Il s'agit d'une application directe du principe du vase de Mariotte qui permet d'appliquer une pression de succion constante et contrôlée au niveau de la surface du sol.

Cet essai est utilisé pour déterminer les propriétés hydrauliques des sols non saturés. Il permet d'appréhender la variation spatiale des propriétés hydrauliques du sol. Il permet enfin une estimation inverse des paramètres hydrodynamiques du sol non saturé.

Il permet de caractériser des sols de perméabilité comprise entre  $10^{-4}$  m/s et  $10^{-7}$  m/s

#### **6.6.1.3.1 Avantage**

Cet essai permet de déterminer une conductivité hydraulique dans un sol non saturé, ainsi que de caractériser le fonctionnement hydrodynamique de la macro-porosité du sol.



**Figure 2** infiltromètre a Mini-disk

## **6.6.2 Comparaison des méthodes**

Le perméamètre de Guelph peut être installé plus facilement à différentes profondeurs que les essais avec un infiltromètre, et la durée des essais est généralement plus courte (quelques minutes ou heures) (Kanwar et al., 1989 ; Havlena et Stephens, 1992 ; Gribb et al., 2004). Le perméamètre de Guelph ne permet par contre d'investiguer qu'un petit volume de sol. Avec un infiltromètre à simple ou double anneau, le volume de sol testé varie selon le diamètre des anneaux utilisés. Ces trois méthodes donnent généralement de bons résultats pour des sols avec des conductivités hydrauliques supérieures à environ  $10^{-7}$  cm/s (Daniel, 1989).

Plusieurs résultats de terrain réalisés avec les 3 méthodes présentées plus haut ont été compilés et comparés à des essais de laboratoire (p. ex. Daniel, 1989). La conductivité hydraulique saturée déduite des mesures au perméamètre de Guelph peut être jusqu'à dix fois supérieure aux valeurs mesurées au laboratoire. Les résultats obtenus avec l'infiltromètre à simple anneau et à double anneau sont souvent plus proches des valeurs mesurées au laboratoire. La principale limitation de ces méthodes in situ est la saturation incomplète du sol lors des essais. Le perméamètre de Guelph, l'infiltromètre à simple anneau et l'infiltromètre à double anneau ont été utilisés dans cette étude (Bréard Lanoix 2017).

### **6.6.2.1 Méthode de laboratoire**

Les mesures de  $K_s$  sur des échantillons remanés n'ont d'autre intérêt que de permettre la comparaison de matériaux car les caractéristiques porales n'ont rien de commun avec celles du sol en place.

Les techniques de mesure de  $K_s$  sur des échantillons non remanés, se différencient essentiellement par :

- La direction de l'écoulement (du haut vers le bas ou vice versa) ;
- La valeur du gradient de charge hydraulique.

Dans celles où l'écoulement se fait du bas vers le haut, le risque de formation d'une croûte (qui peut faire baisser sensiblement  $q$ ) est moindre. Dans celles où  $i$  est significativement différent de 1, on s'éloigne des conditions naturelles d'écoulement. Ceci peut réduire et aussi favoriser le colmatage des pores.

La mesure est réalisée, soit sur des prélèvements faits au cylindre (leur volume peut aller de

(0, 1 à 0.5), soit sur des gros prélèvements du type cube VERGIERE (1 à 2 ). Afin de s'approcher au mieux de la réalité au champ, les mesures sur des gros prélèvements sont à préférer, en particulier si la structure du sol est fragmentaire. Toutefois, le prélèvement de gros échantillons est laborieux, et si le laboratoire n'est pas à proximité, le prix de transport peut être élevé.

Comme pour les mesures in situ, trois répétitions au moins sont à faire pour chaque situation. De même, la durée de la mesure et la qualité de l'eau utilisée influent souvent sur le résultat.

La pertinence des résultats peut être perturbée par une mauvaise réalisation du prélèvement, de son transport et de sa préparation au laboratoire (création de fissures, ou de vides lissage des surfaces) et par des erreurs commises pendant la mesure (formation d'une croûte) ou lors du calcul de  $K_s$  (erreur en  $i$ ). (Brouwers 1990).

### 6.6.2.2 Méthode de calculs

Les relations empiriques expriment une décroissance de l'infiltration en fonction du temps à partir d'une valeur initiale (soit exponentiellement, soit comme une fonction quadratique du temps) qui tend vers une valeur limite, en général  $K_s$  mais pouvant être proche de zéro. Citons à titre d'exemple deux formules empiriques.

- **Formule d'Horton**

La formulation proposée par HORTON (1933) se caractérise par une décroissance logarithmique de l'infiltrabilité entre des valeurs limites d'infiltrabilité initiale  $i_0$  et finale  $i_f$ . Ici également, le paramètre  $\gamma$  peut être déterminé par régression sur des données d'infiltration cumulative : (Soutter, Mermoud et al. 2007).

La capacité d'infiltration s'exprime comme suit :

$$i(t) = i_f + (i_0 - i_f) \cdot e^{-\gamma t} \quad \text{Éq 2}$$

$i(t)$  : capacité d'infiltration au temps  $t$  [mm/h].

$i_0$  : capacité d'infiltration respectivement initiale dépendant surtout du type de sol [mm/h].

$i_f$  : capacité d'infiltration finale [mm/h].

$t$  : temps écoulé depuis le début de l'averse [h].

$\gamma$  : constante empirique, fonction de la nature du sol [ $\text{min}^{-1}$ ].

- **La formule de Philip (1957)**

Le modèle de Philip présente une solution pour un écoulement vertical (1D) dans un sol homogène dont la teneur en eau volumique initiale est uniforme et connue (Dingman, 1994). Le taux d'infiltration peut s'écrire (Hillel, 1980).

$$i(t) = ic + \frac{S}{2t^{1/2}} \quad \text{Éq 3}$$

$s$  : sportivité (capacité du sol à absorber l'eau par capillarité) [L·T<sup>-1/2</sup>]

$t$  : temps [T]

$ic$  : capacité d'infiltration [L·T<sup>-1</sup>]

- **La formule de Green - Ampt (1911)**

L'équation de Green--Ampt a été développée à l'origine pour un sol profond et homogène. Elle utilise les hypothèses suivantes :

- le front mouillant est bien défini et sépare la zone humide de la zone sèche,
- le profil est saturé au-dessus du front mouillant,
- l'infiltration est contrôlée par la vitesse de transmission de Darcy.

En utilisant la loi de Darcy, la capacité d'infiltration qui correspond au flux d'eau entrant à la surface du sol peut s'écrire :

$$f_{max} = q = -Ks \cdot \frac{H2 - H1}{l_f} \quad \text{Éq 4}$$

$Ks$  = conductivité hydraulique saturée.

$H1$  = potentiel à la surface du sol.

$H2$  = potentiel au front mouillant.

- **La formule de Holtan (1961)**

Holtan (1961) a proposé une expression de la capacité d'infiltration en fonction de l'épuisement de l'emménagement de l'humidité dans le sol :

$$f_{max} = a \cdot (S - F)^n + fc \quad \text{Éq 5}$$

$S$  = volume potentiel (possible) d'emménagement ou différence volumétrique entre la saturation et le point de flétrissement dans la zone Située au-dessus de la couche de contrôle (qui limite l'infiltration)

$\cong (\theta_{SAT} - \theta_{PF}) dc$

$dc$  = profondeur de contrôle

$F$  = masse d'eau infiltrée ou déjà emmagasinée dans le sol

$fc$  = taux d'infiltration final constant de l'horizon de contrôle

≅ conductivité hydraulique de l'horizon de contrôle

- **Formule de Kostiakov (1932), Lewis (1937)**

L'équation de Kostiakov (1932) et Lewis (1937) a été développée de façon expérimentale

$$F = a \cdot t^n \qquad \text{Éq 6}$$
$$f_{\max} = a \cdot n \cdot t^{n-1}$$

$a \cdot n$  = constantes déterminées expérimentalement

Avec les équations, la capacité d'infiltration tend vers une valeur nulle lorsque le tend devient très grand. Les modèles de Kostiakov (1932) et Lewis (1937)

sont utilisés dans les études d'irrigation où les applications d'eau ne sont généralement pas faites sur de longues périodes.

- **Formule de googe (1992)**

$$i(t) = a \cdot (F_{\max} - F_t) \qquad \text{Éq 7}$$

$a$ : constante

$F_{\max}$ : capacité de rétention maximale

$F_t$ : teneur en eau au temps  $t$

En règle générale, les modèles d'infiltration sont divisés en trois principaux groupes : des modèles physiques basés sur la loi de Darcy et la loi de la conservation de masse (comme celui de Green et Ampt, Philips). D'autres modèles de type semi-empirique : Ces modèles sont basés sur des méthodes du taux cumulatif d'infiltration (on cite celui de Holtan comme exemple)

D'autre modèles sont basés sur des expériences sur terrain et au laboratoire (par exemple, Kostiakov, Horton) nommés empiriques. Le (tableau 1) montre l'équation et les paramètres de chaque formule.

**Tableau 1** : Principales fonctions d'infiltration utilisées (D'après Jaton, 1982).

Auteur	Fonction	Légende
<b>Horton</b>	$i(t) = i_f + (i_0 - i_f) \cdot e^{-rt}$	<b><math>i(t)</math></b> : capacité d'infiltration au cours du temps [cm/s] <b><math>i_0</math></b> : capacité d'infiltration initiale [cm/s] <b><math>i_f</math></b> : capacité d'infiltration finale [cm/s] <b><math>g</math></b> : constante fonction de la nature du sol [ $\text{min}^{-1}$ ]
<b>Kostiakov</b>	$i(t) = i_0 \cdot t^\alpha$	<b><math>a</math></b> : paramètre fonction des conditions du sol
<b>Dvorak-Mezencev</b>	$i(t) = i_0 + (i_1 - i_f) \cdot t^{-b}$	<b><math>i_1</math></b> : capacité d'infiltration au temps $t=1$ min [cm/s] <b><math>t</math></b> : temps [s] <b><math>b</math></b> : constante
<b>Holtan</b>	$i(t) = i_f + c \cdot w \cdot ((IMD) - F)^n$	<b><math>c</math></b> : facteur variant de 0,25 à 0,8 <b><math>w</math></b> : facteur d'échelle de l'équation de Holtan <b><math>n</math></b> : exposant expérimental proche de 1,4
<b>Philip</b>	$i(t) = \frac{1}{2} \cdot s \cdot t^{-0.5} + A$	<b><math>s</math></b> : sorptivité [cm.s <sup>-0,5</sup> ] <b><math>A</math></b> : composante gravitaire fonction de la conductivité hydraulique à saturation [cm/s]
<b>Dooge</b>	$i(t) = a \cdot (Fmax - f_t)$	<b><math>a</math></b> : constante <b><math>Fmax</math></b> : capacité de rétention maximale <b><math>f_t</math></b> : teneur en eau au temps $t$
<b>Green&amp;Ampt</b>	$i(t) = Ks \left\{ 1 + \frac{h_0 - h_f}{z_f(t)} \right\}$	<b><math>Ks</math></b> : conductivité hydraulique à saturation [mm/h] <b><math>h_0</math></b> : charge de pression en surface [mm] <b><math>h_f</math></b> : charge de pression au front d'humidification [mm] <b><math>z_f</math></b> : profondeur atteinte par le front d'humidification [mm]

## **7 Chapitre 2 : Zone d'étude**

---

### **7.1 Description du milieu**

#### **7.1.1 Donné topographique**

##### **7.1.1.1 Délimitation du bassin versant de Medjaz Ressoul**

Medjaz Ressoul draine 103,4 Km<sup>2</sup> de surface. Son périmètre est généralement exprimé en km, de la ligne de contour du bassin, joigne tous les points les plus élevés. Exprimé par 52,77 Km mesuré automatiquement par les logiciels ou par un curvimètre.

La délimitation du bassin versant (**figure 3**) et le calcul de ses propriétés (aire, périmètre, altitude moyenne) peut s'effectuer à partir d'un réseau hydrographique, extrait d'un modèle numérique du terrain à l'aide d'ArcGis version 10.2 on peut extraire du MNT des informations sans effectuer de mesures sur le sol lui-même, La méthode proposée décrit le calcul et l'extraction d'un réseau hydrographique à partir d'un modèle numérique du terrain en utilisant l'extension 'Hydro Tools' de la version 10.2. Cette extension est développée par Holger Schäuble pour les analyses hydrologiques des bassins versants à petite et à grande échelle.

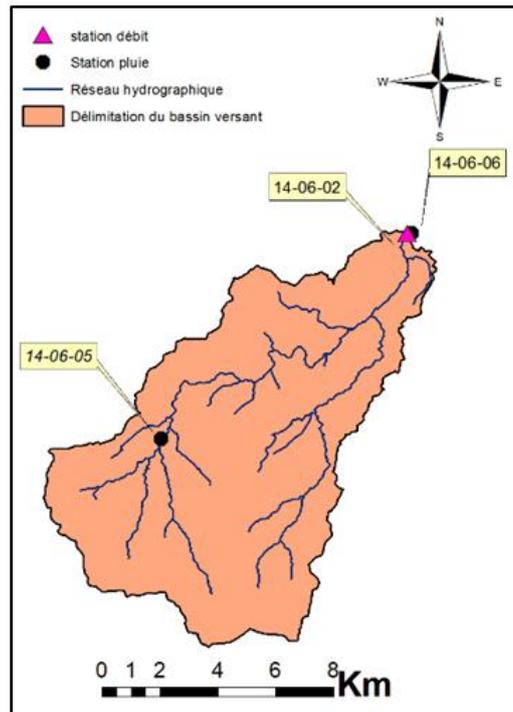


Figure 3 : Délimitation du bassin versant de Medjaz Ressoul Ain Berda.

## 7.1.2 Relief et forme

### 7.1.2.1 Généralités - définitions

La détermination des caractéristiques du bassin versant (**tableau3**) consiste à calculer, ou évaluer, les paramètres explicatifs, indispensables à la mise en œuvre de la méthode proposée. Les caractéristiques physiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage.

$$K_c = 0.28 \times \frac{p}{\sqrt{S}} \quad \text{Éq 8}$$

$K_c$  : indice de compacité de Gravelius

$S$  : surface du bassin versant en  $\text{Km}^2$

**Tableau 2 :** Correspondance valeur de  $K_c$  et type de réponse attendue

$K_c < 1.25$	<b>BASSIN COMPACT</b>	<b>Réponse rapide</b>
$1.25 < K_c < 1.5$	Bassin de forme moyen	Réponse moyen
$K_c > 1.5$	Bassin plutôt allongé	Réponse plus lente

Le Dimensionnement du Rectangle Equivalent C'est la transformation géométrique du bassin versant en un rectangle de Gravelius en gardant la même superficie et le même périmètre.

Le dimensionnement du rectangle équivalent consiste à la détermination de sa largeur (l) et longueur (L) respective. La largeur et la longueur du rectangle équivalent sont données par les relations qui suivent :

$$L = \frac{K_c}{1,12} \sqrt{S \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right]} \quad \text{Éq 9}$$

$$l = \frac{K_c}{1,12} \sqrt{S \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right]} \quad \text{Éq 10}$$

**S :** Superficie du bassin versant en Km<sup>2</sup>.

**L :** Longueur du rectangle équivalent en Km.

**l :** Largeur du rectangle équivalent en Km.

La courbe hypsométrique (**figure 4**) représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage.

L'altitude Moyenne est donnée par la relation :

$$H_{moy} = \frac{1}{S_T} = \sum S_I \times \left( \frac{H_{I-1} + H_I}{2} \right) \quad \text{Éq 11}$$

**S<sub>I</sub> :** Surface partielle.

$S_T$ : Surface totale.

$H_{I-1}$  : Altitude d'ordre (I-1).

$H_I$  : Altitude d'ordre (I).

La dénivelée spécifique est la différence d'altitudes (H) comprise entre la surface cumulée de 5% ( $H_{5\%}$ ) et 95% ( $H_{95\%}$ ) :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad \text{Éq 12}$$

Pour l'interprétation de ce paramètre, l'IRD (EX ORSTOM) a mis au point la classification représentée dans le (**tableau 3**)

**Tableau 3** : types des reliefs classés par rapport à la dénivelée spécifique

Relief très faible	<b>DS &lt; 10</b>
Relief faible	10 < DS < 25
Relief assez faible	25 < DS < 50
Relief modéré	50 < DS < 100
Relief assez fort	100 < DS < 250
Relief fort	250 < DS < 500
Relief très fort	500 < DS

Chevelue Hydrographique : Le cours principal d'un oued est alimenté par les affluents les plus importants qui sont eux-mêmes alimentés par des affluents de second ordre, ainsi de suite jusqu'aux ruisselets et petits cours d'eau de tête du bassin formant ce que les cartographes appellent le chevelu.

La relation de la densité de drainage est donnée par la formule suivante :

$$D_d = \frac{\sum L_I}{S} \quad \text{Éq 13}$$

Le Coefficient de Torrentialités calcul à partir de la formule suivante :

$$C_T = D_d \times L_I \quad \text{Éq 14}$$

$$F = \frac{N_I}{S} \quad \text{Éq 15}$$

F: Fréquence des talwegs d'ordre 01

$N_I$ : Nombre de talwegs d'ordre 01

### 7.1.2.2 Mesures et résultats

Le calcul des caractéristiques physiques d'un bassin versant et son étude hypsométrique ne sont possibles qu'après mesure de son périmètre et ses surfaces. Dans notre cas pour la mesure de surface et périmètre nous avons choisi l'outil de Modélisation arc gis. Les paramètres géométriques se trouvent dans l

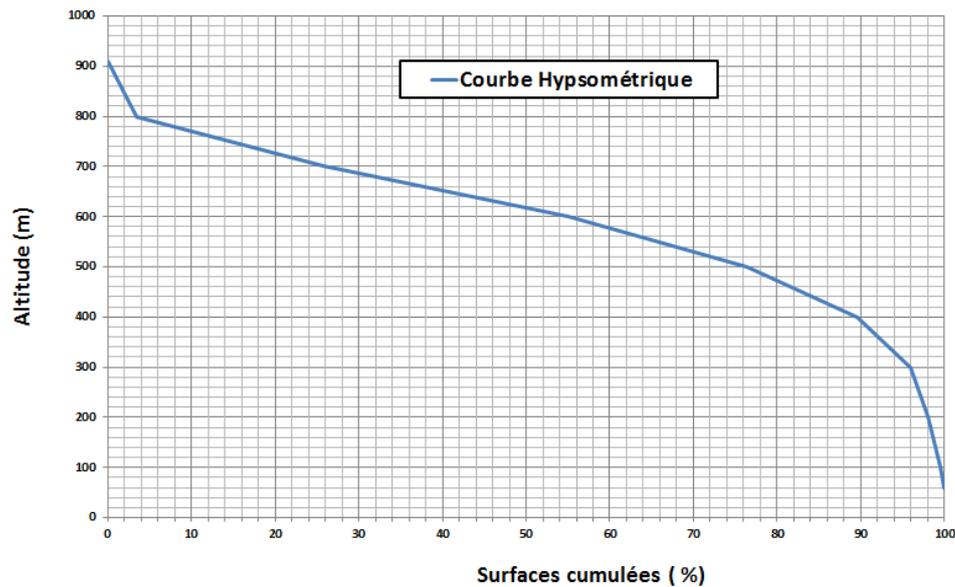
**Tableau 4** : les paramètres de relief du bassin de Medjez Ressoul Ain Berda.

Oued Ressoul	Indice de pente de roche (IP) en %	Indice global (IG) en %	Dénivelée utile (D) en m
<b>Ain Berda</b>	3,41	21,58	500

Les paramètres de relief se résument dans l'Indice de Pente de Roche (IP) et l'Indice Global (IG) qui requièrent la connaissance de la répartition hypsométrique et de la Dénivelée Utile (D). Voir (**tableau5, tableau6, tableau7**).

**Tableau 5** : Répartition des surfaces cumulées en fonction des altitudes

Cote Initiale (m)	Cote Finale (m)	surfaces	Surfaces Partielles (km <sup>2</sup> )	Surfaces Cumulées (km <sup>2</sup> )	Surfaces Partielles (%)	Surfaces Cumulées (%)
<b>0</b>	909	0	0	0	0	0
<b>60</b>	800	4568	3,58	3,58	3,46	3,46
<b>100</b>	700	29470	23,11	26,7	22,35	25,82
<b>200</b>	600	38572	30,25	56,95	29,26	55,08
<b>300</b>	500	28134	22,07	79,02	21,34	76,42
<b>400</b>	400	17312	13,58	92,59	13,13	89,55
<b>500</b>	300	8487	6,66	99,25	6,44	95,99
<b>600</b>	200	2621	2,06	101,31	1,99	97,97
<b>700</b>	100	2007	1,57	102,88	1,52	99,5
<b>800</b>	60	663	0,52	103,4	0,5	100



**Figure 4 :** courbe hypsométrique d'oued Ressoul Ain Berda Annaba

**Tableau 6 :** les paramètres de relief du bassin de Medjaz Ressoul Ain Berda.

Oued Ressoul	Indice de pente de roche (IP) en %	Indice global (IG) en %	Dénivelée utile (D) en m
<b>Ain Berda</b>	3,41	21,58	500

**Tableau 7 :** Altitude du bassin versant de Medjaz Ressoul Ain Berda.

Oued Ressoul	$H_{moy}$ en m	$H_{50\%}$ en m	D en m
<b>Ain Berda</b>	307,6 m	620	500

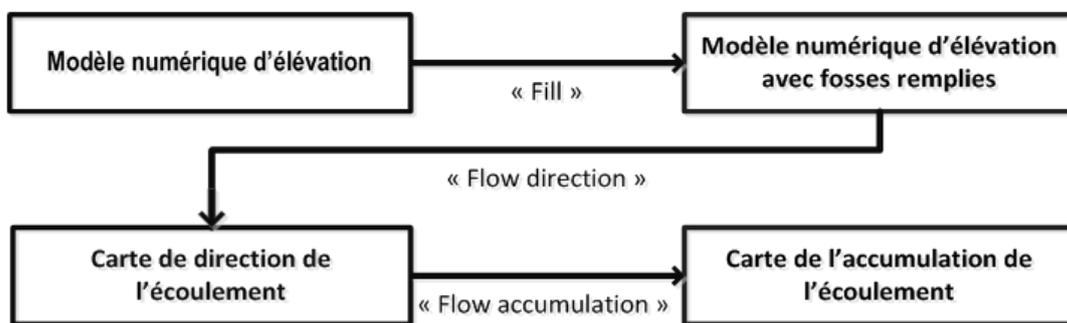
Les paramètres hydrographiques se résument essentiellement dans la densité de drainage, sa détermination repose sur une classification des talwegs par ordres et détermination des longueurs de chaque ordre. En conséquence toute mesure s'appuie sur l'établissement du plan chevelu hydrographique complet du bassin versant. Voir (**tableau8**).

**Tableau 8** : Paramètres hydrographiques du bassin de Medjaz Ressoul Ain Berda.

Oued Ressoul	$D_d$ en km/km <sup>2</sup>	$C_T$
<b>Ain Berda</b>	0,63	0,18

### 7.1.3 Le réseau hydrographique

La modélisation d'un réseau hydrographique consiste simplement à reconstituer de façon numérique et détaillée le flux de l'eau à la surface. trois étapes préliminaires de traitement doivent être réalisées de façon séquentielle (**figure5, figure6.(a, b, c, d)**).



**Figure 5** : les étapes préliminaires de la modélisation d'un réseau hydrographique. (tiré de (Trépanier 2009))

#### 7.1.3.1 Remplir les dépressions dans le MNA

Les modèles numériques de terrain contiennent souvent de petite fosse qui sont communément causé par des imperfections dans le modèle, ces fosses empêchent un écoulement correct. Un MNA dont les fosses ont été remplies est produit : toutes les cellules du MNA s'écoulent alors vers une de ses bordures (Trépanier 2009).

#### 7.1.3.2 Direction du drainage

Cette étape consiste à définir la direction de l'écoulement est codée selon un système numérique simple. L'algorithme de détermination de l'écoulement traite de façon cohérente tous les cas problématiques (par exemple : les secteurs plats ou toutes les cellules adjacentes à la cellule considérée ont la même altitude que celle-ci. La carte de direction de drainage est réalisée à partir du MNA dont les dépressions ont été remplies (Trépanier 2009).

### 7.1.3.3 Accumulation de drainage

Cette troisième étape consiste à calculer, à partir de la carte de direction du drainage, le nombre des cellules de MNA qui se drainent vers une cellule donnée (Trépanier 2009).

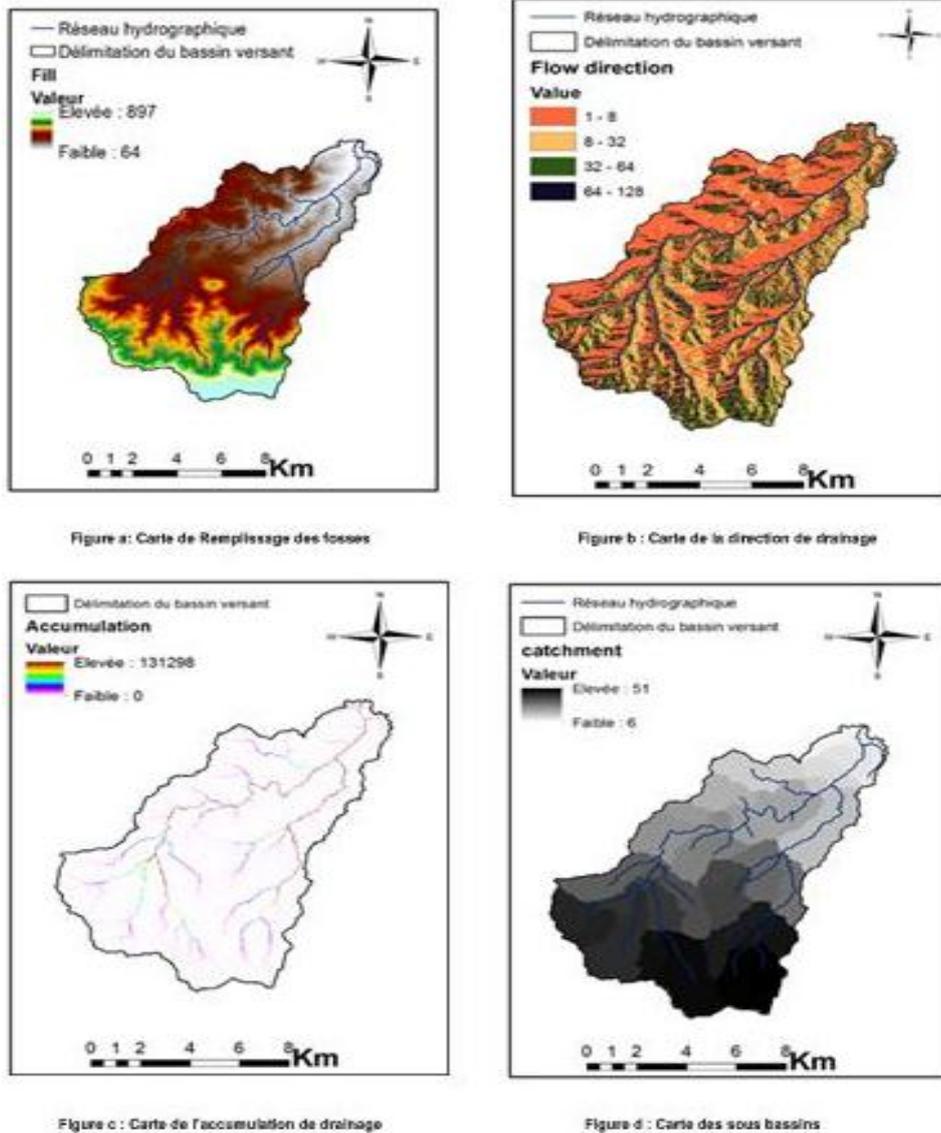


Figure 6 : Les étapes de la délimitation du bassin versant à l'aide de l'extension arc hydro Tools.

## 7.2 Topographie

Au niveau du bassin de Medjaz Ressoul les pentes en (m/m) et les altitudes en (m) se réparties comme montre la (figure 7) et la (figure 8).

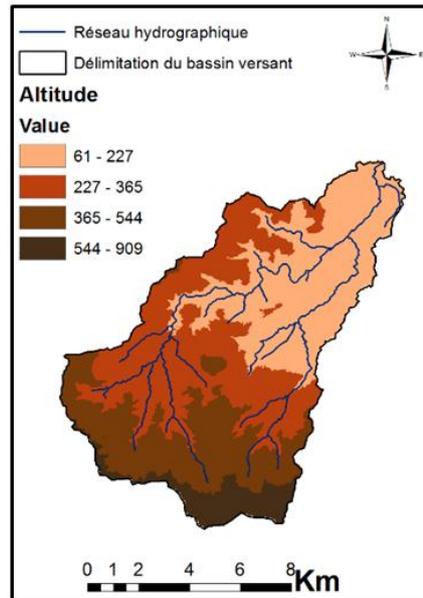


Figure 7 : Répartition d'altitude du bassin de Madjez Ressoul

Les données ont été tirées du MNT généré sous le module Arc View sur la base des courbes de niveau. Les altitudes sont groupées en cinq classes dans le (tableau 9).

Tableau 9 : Classes d'altitudes du bassin de Medjaz Ressoul.

Altitude en (m)	Surface en (km <sup>2</sup> )
60 - 227	24,72
227 - 365	49,24
365 - 544	17,08
544 - 909	12,35

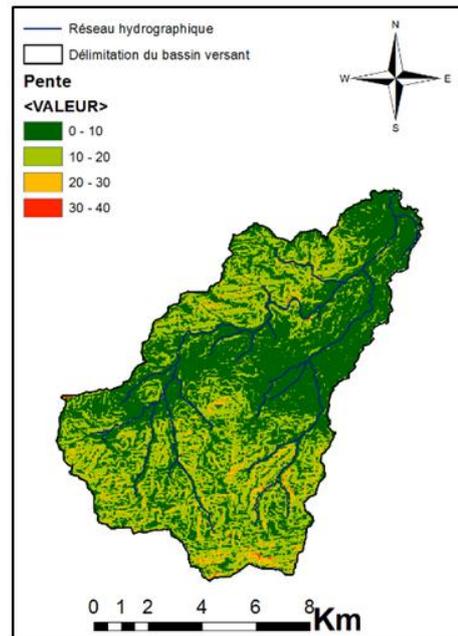


Figure 8 : Carte des pentes du bassin de Medjaz Ressoul

La récapitulative du comportement du bassin versant de Medjaz Ressoul est montrée dans la (figure 9).

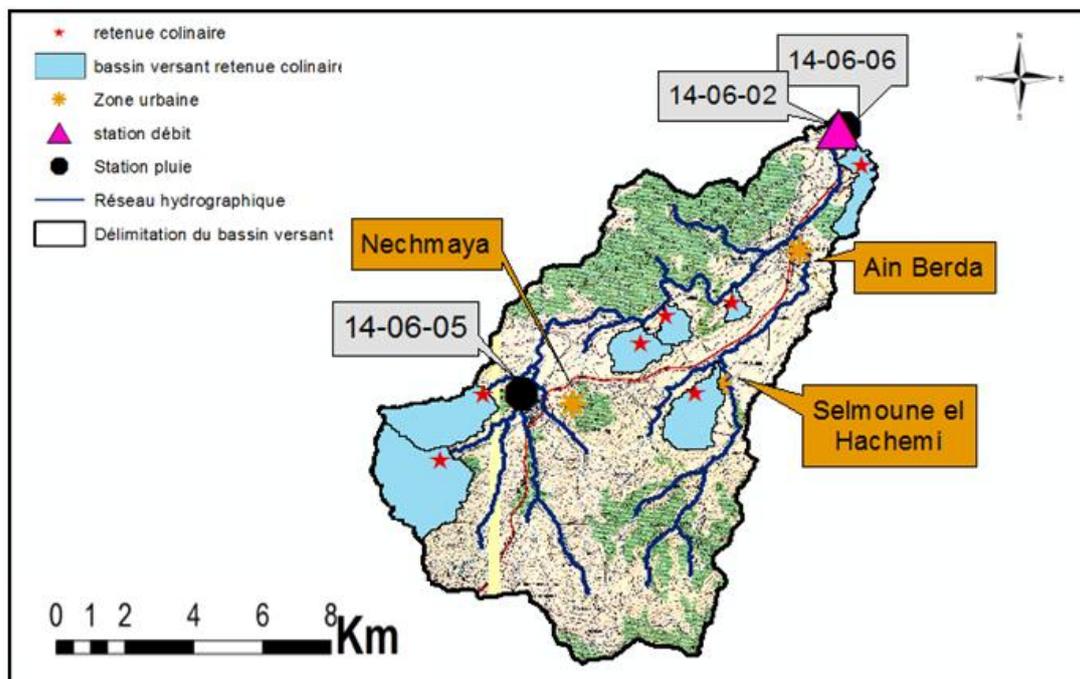


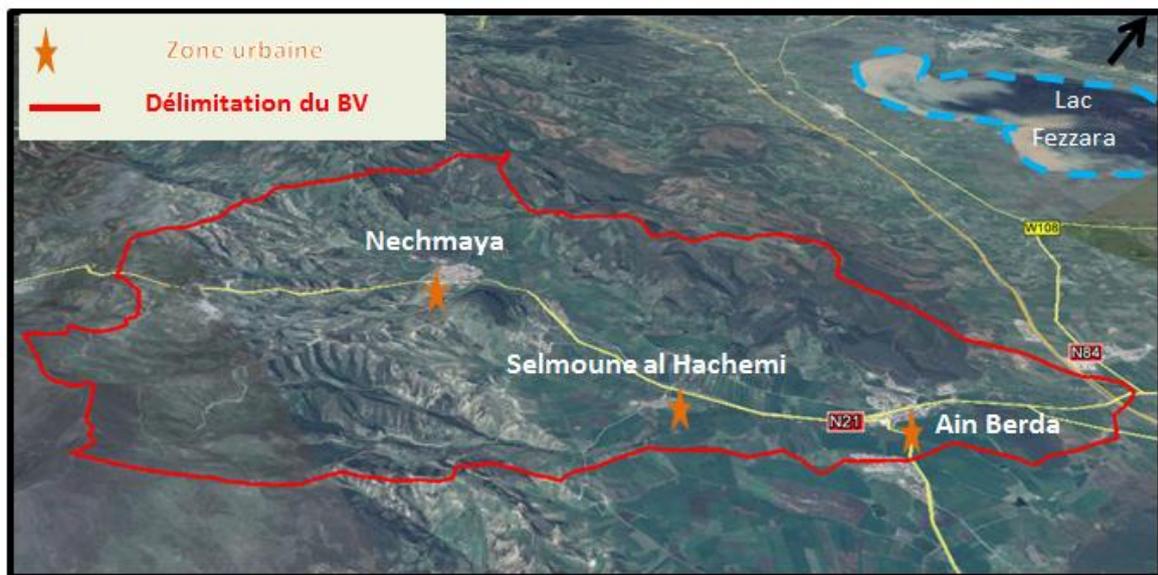
Figure 9 : Récapitulative du comportement du bassin du bassin versant de Medjaz Ressoul

## 7.3 Urbanisation du bassin versant

Le bassin d'oued Ressoul est constitué de trois communes : Ain Berda Selmoune Alhachemi et Nechmaya représentées dans la (figure 10). Au-dessous avec les surfaces présentées dans le (Tableau 10).

**Tableau 10** : surfaces et périmètres des communes appartiennent au bassin versant

commune	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)
Ain Berda	1,391	7,062
Selmoune Alhachemi	0,183	2,864
Nechmaya	0,927	5,122



**Figure 10** : Représentation 3D des zones urbaine dans le bassin versant de Medjaz Ressoul.

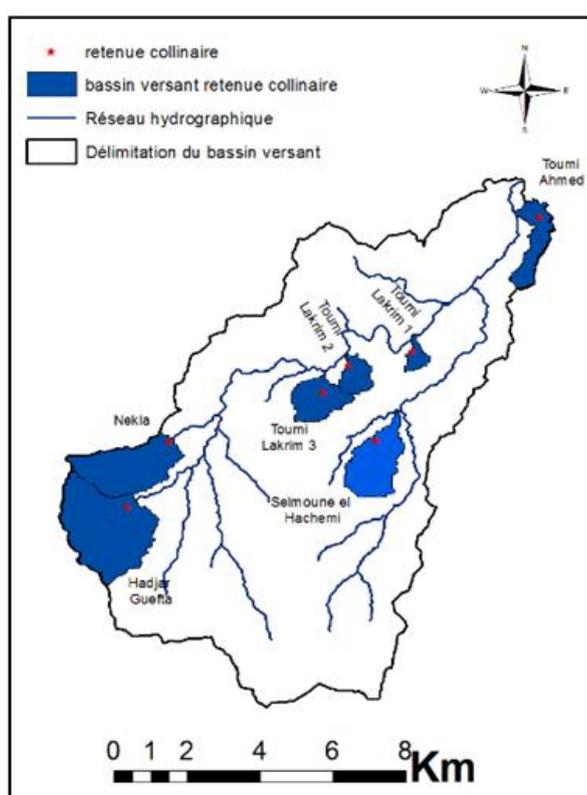
## 7.4 Agriculture dans le bassin versant

### 7.4.1 Aménagement hydroagricole

Le bassin versant de Medjaz Ressoul est bien défini, il comporte sept retenues collinaires voir (tableau 11), le point le plus haut du bassin se situe à une altitude de 909 (m) et son exutoire se situe à la station hydrométrique d'Ain Berda (figure 11).

**Tableau 11** : Description des retenues collinaires existantes dans Medjaz Ressoul

BV de la Retenue	Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (m)
Toumi Ahmed	1,324	9,749	171	69
Toumi laakrim 1	0,363	3,642	218	110
Toumi laakrim 2	0,740	4,707	238	161
Toumi laakrim 3	1,435	6,668	275	169
Selmoune alhechmi	2,304	9,301	323	158
Nekla	3,161	10,702	558	240
Hdjar guefta	5,001	13,055	579	297



**Figure 11** : Les différents bassins des retenues collinaires du bassin de Medjaz Ressoul Ain Berda. La commune d'Ain Berda est caractérisée par une surface agricole totale (S.A.T) de 9813 ha, comporte les surfaces présentées dans le (tableau 12).

**Tableau 12 :** Classification des surfaces agricoles de ma région d'Ain Berda

Types de surfaces	Surface (Ha)
<b>Surface agricole utile (S.A.U)</b>	7952
<b>Superficie frets (S.F)</b>	3350
<b>Surface agricole irriguée (S.A.I)</b>	376

Lorsqu'on parle de la production animale d'Ain Berda, on propose le tableau explicatif (tableau 13).

**Tableau 13 :** Type de production animal à la commune d'Ain Berda.

Produit animal	Nombre
<b>Poulet de chairs</b>	44
<b>Poules pondeuses</b>	05 Poulailier
<b>Elevage bovin</b>	29 Etables
<b>Elevage apicole</b>	300 Ruches
<b>Bergeries</b>	07 Abri
<b>Ruches</b>	50 Ruches traditionnelles

## 7.5 Géologie du bassin versant

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. La géologie de la région d'Ain Berda est caractérisée par :

De flysch mauritanienne : de formation de Cénomanién à l'âge Oligocène, constitué de différentes lithologies : brèche, marnes, schistes, le calcaire et micacé grès ;

-les Flyschs Massylian du Crétacé constitué de grès, schiste et marnes

-les Flyschs Nummidian composées d'Oligo – Miocène grès.

La majeure partie de ces roches sédimentaires sont recouvert par Un Miocène et du Pliocène à la couverture du Quaternaire de sable, gravier et alluvions. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe des graviers. Voir (**figure12**).

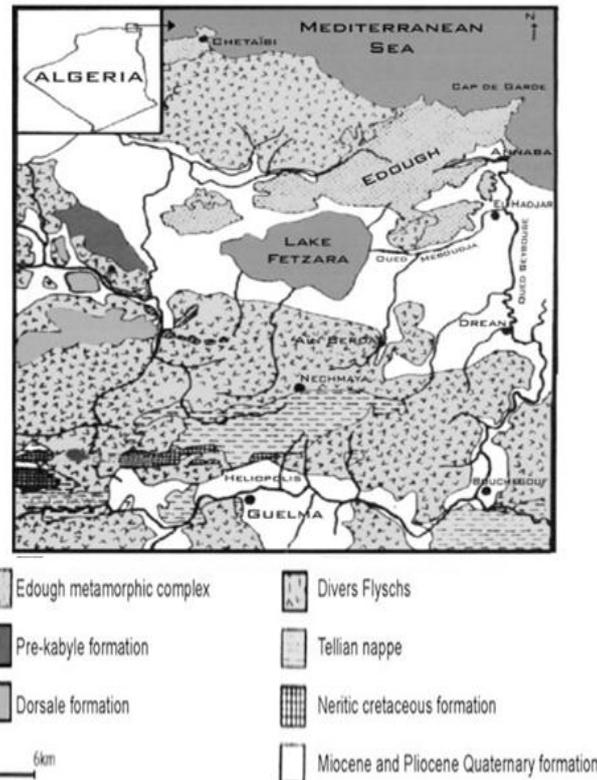


Figure 12 : Carte géologique de la ville d'Annaba tirée de : (Djabri, A.Hani et al. 2003)

## 7.6 Données hydro-pluviométriques

Le type des données disponibles est dans le tableau suivant (**tableau 14**)

**Tableau 14** : Récapitulatif des données collectées dans le bassin versant

Données	Types	Unité
Pluie	journalières totales	mm
Débit	moyennes journalières	m <sup>3</sup> /s
ETP	Journalières	mm

La station hydrométrique montrée dans la (**figure13**) a été construite sur le bassin versant drainé par l'oued Ressoul, ce dernier est un petit affluent de rive gauche d'oued Seybouse, important fleuve côtier de l'est algérien (**figure14**).

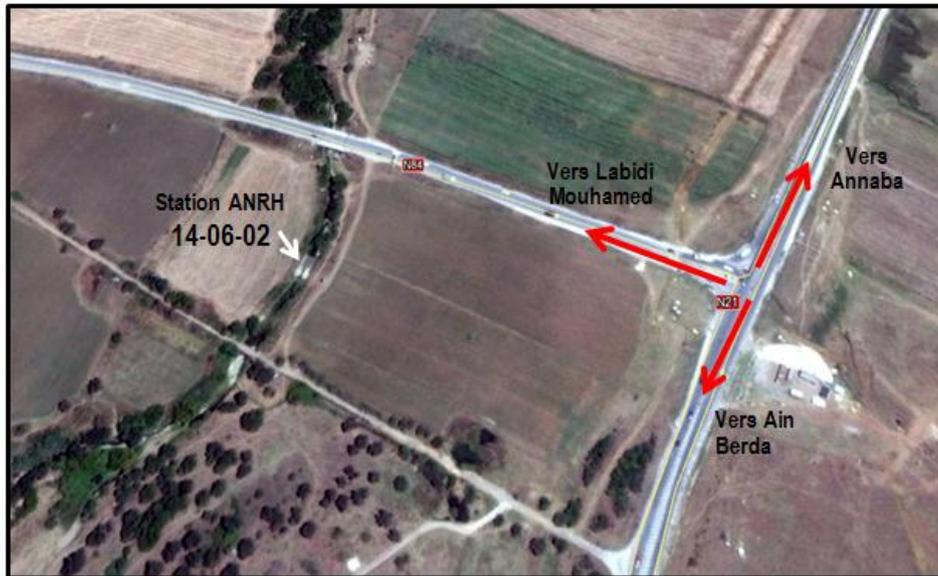


Figure 13 : vue en plan de la station hydrométrique Ain Berda

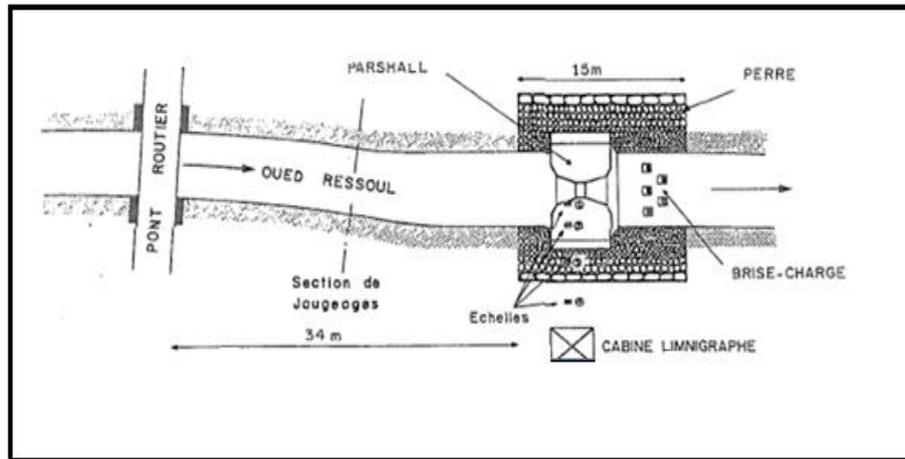


Figure 14 : Vue en plan du raccordement d'oued Ressoul avec l'Oued de la Seybouse.

### 7.6.1 Caractéristique de la station

La station a été équipée d'un seuil-jaugeur en béton de type parshall de 90 cm pour connaître la précision des débits les plus faibles.

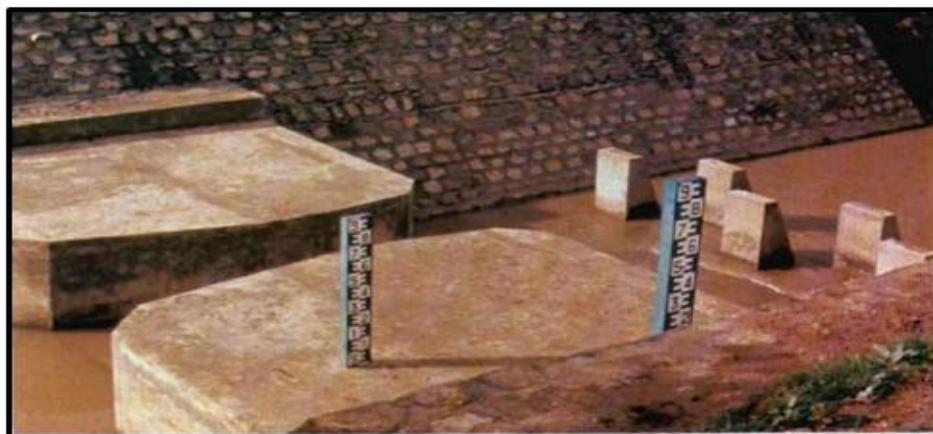
L'équipement limnimétrique comprend : une échelle composée de quatre éléments verticaux, le premier de hauteur de 88 cm, est fixé sur la paroi du convergent, le second a une hauteur de 112 cm, et les deux autres éléments sont métriques et un limnigraphe pneumatique Telimnip avec réduction 1/5. La section de l'échelle et la prise de pression du limnigraphe sont situés au premier tiers du convergent. Voir (figure15).(Jacon 1986).



**Figure 15** : Plan de situation d'oued Ressoul Ain Berda (Jacon 1986)

Le profil en travers de la section de l'échelle est parfaitement stable, grâce au seuil et au perré qui protège les berges. Le profil en long est assez régulier avec une pente relativement forte de 9,2 m/km. Les jaugeages sont faits soit à gué, à 15m à l'amont du seuil, soit avec une potence depuis le pont routier, situé à 34m à l'amont de l'échelle.

La seuil-jaugeur parshall montré dans la (**figure16**) modifié le régime d'écoulement par le rétrécissement de la section transversale et par un brusque changement de la pente.



**Figure 16** : Seuil-jaugeur parshall de la station d'oued Ressoul (Jacon, 1986).

Les données pluviométriques (pluie, débit) enregistrées sont choisies pour une période de 1973 à 2003, en observant les minima, les maxima et les valeurs moyennes journalières des pluies et des lames d'écoulement rapide. La répartition des lames écoulées peut différer d'une façon très significative d'une année à l'autre.

Pour les données d'évapotranspiration varies dans la période 1973-2004 nous avons recueilli une Série d'estimation par la méthode de monteith à la station d'Ain Berda. Du fait de la variation saisonnière de la température, nous avons signalés une augmentation de l'ETP en été et diminution en hiver. Il comprend trois parties qui sont de l'amont vers l'aval : Un convergeant à fond horizontal, un canal ou gorge à paroi vertical, un divergent dont le fond à une contre pente dans le rapport 1 /6. Le traçage de jaugeage parshall est montré dans la (figure17). (Jacon 1986).

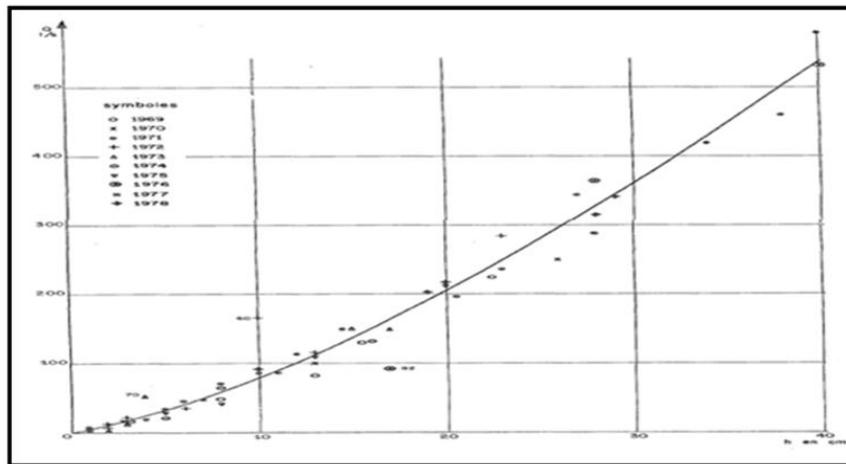


Figure 17 : Traçage du jaugeage parshall (Jacon 1986).

## 7.6.2 Pluviométrie

La série des données pluviométriques observées sur la période 1973 à 2003 est issu de l'ANRH. Le bassin méditerranéen avec été chaud d'oued Ressoul Ain Berda reçoit des quantités de pluie capricieuse, inégalement réparties au cours d'une même année et d'une année à l'autre.

Le bassin versant comporte deux stations pluviométriques et une autre pluviographique, les maximas des pluies enregistrées à l'aide d'un pluviomètre s'observent généralement aux mois d'Octobre, Novembre, Décembre, et augmente avec l'altitude.

## 7.6.3 Débit

La station hydrométrique d'Ain Berda (code **140602**) est située à une trentaine de kilomètre au sud d'Annaba avec les coordonnées géographiques suivantes :

36° 41',3 N et 7° 36',38 E. elle est installée sur l'oued Ressoul qui est un affluent de rive gauche d'oued Seybouse, contrôle un bassin versant de 103,4 km<sup>2</sup> et utilise la courbe de tarage univoque, avec discontinuité comme un type de tarage.

Le bassin versant d'Ain Berda comporte une station hydrométrique, l'hydro gramme de la station d'oued Ressoul est montré au-dessous dans la (figure18) pour une période de mesure de 1973-2003.

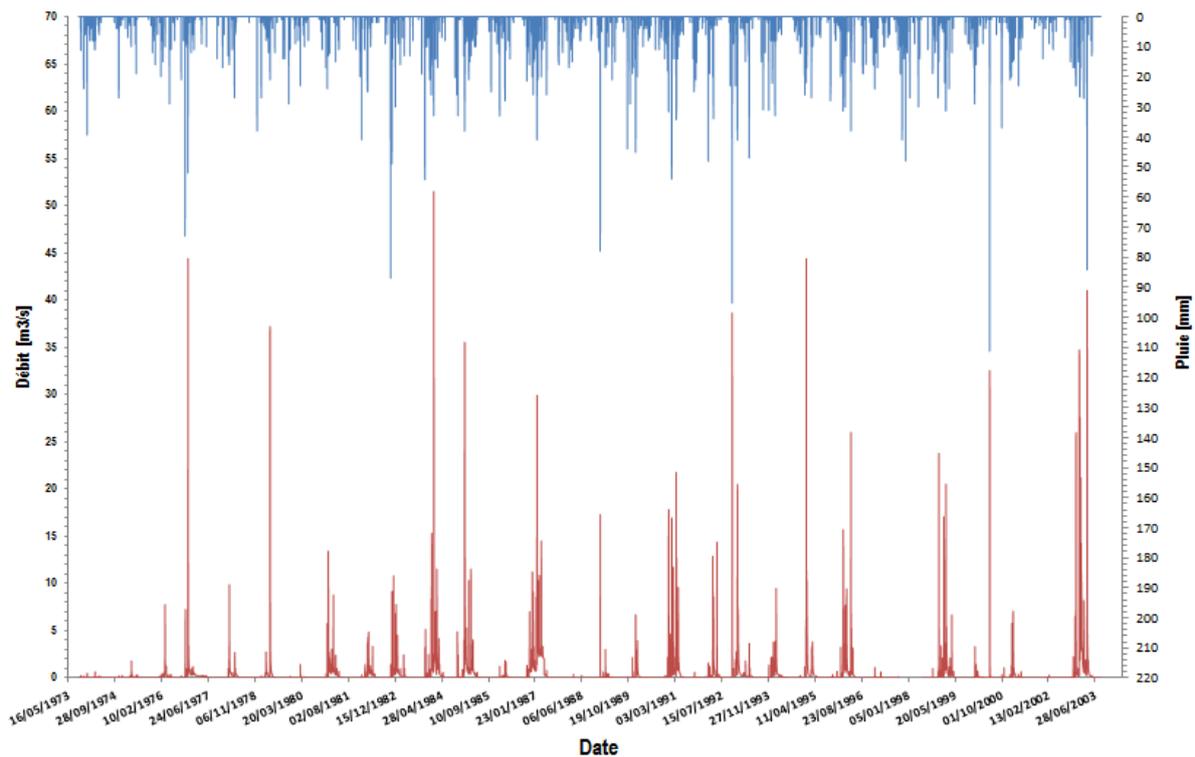


Figure 18 : La variation de la pluie journalière totale et le débit journalier moyen observé sur la période 1973-2003 de la station d'Ain Berda.

## 7.6.4 Température

Les données de température sont de la météo d'Annaba mesurées pour une période de 30 ans variée de 1973 jusqu'au 2003.

Respectivement les minimas s'observent durant la période hivernal (décembre-février), et les maximas dans la période estivale.

### 7.6.5 Evapotranspiration (ETP)

L'évapotranspiration joue un rôle essentiel dans l'étude du cycle de l'eau, c'est la somme de la transpiration du couvert végétale (à travers les stomates des plantes) et de l'évaporation du sol et des surfaces d'eau libre.

On désigne comme évapotranspiration réelle (ETR) la valeur de ce flux à un instant donné ou de sa moyenne sur une période donnée, pour une station donnée. Lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative, ce flux tend vers une limite appelée évapotranspiration potentielle (ETP). Ce dernier concept, essentiellement théorique, caractérise une certaine demande en eau exercée par le milieu.

Les résultats de l'évapotranspiration sont établis par la méthode d'LOUDIN, cette dernière augmente d'une façon extrusive avec la température. la (Figure 19) illustre la variation de l'évapotranspiration potentielle journalière à Ain Berda.

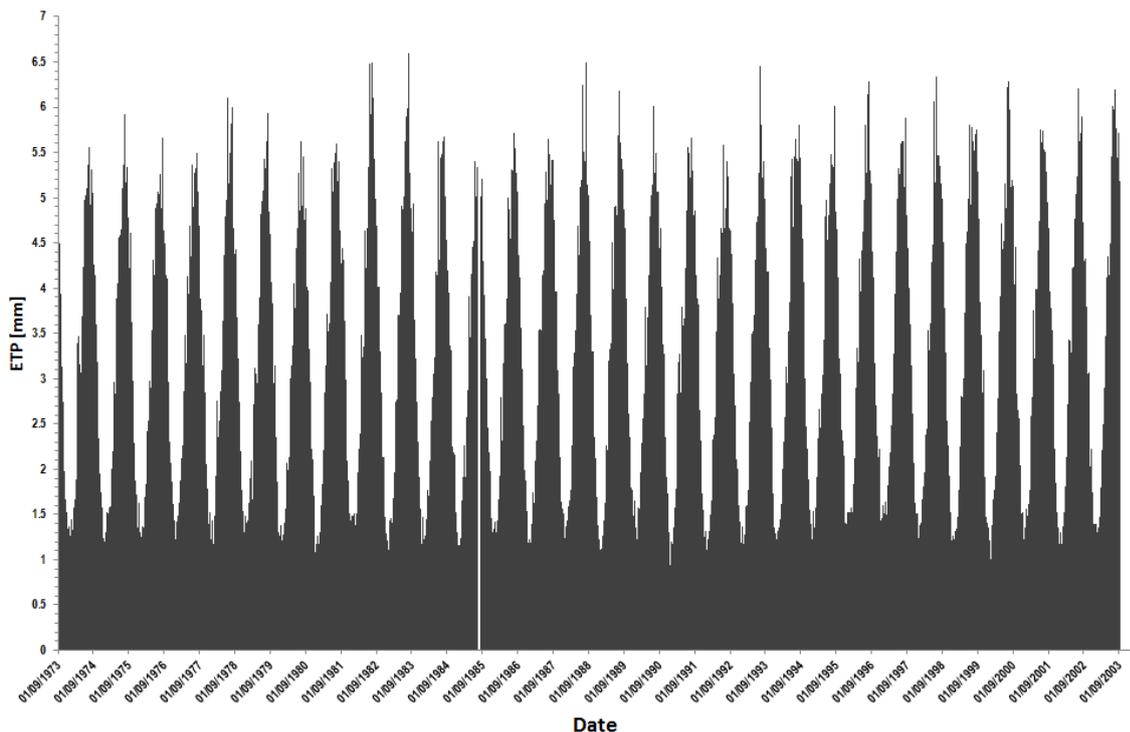


Figure 19 : la variation de l'évapotranspiration potentielle journalière estimée par la méthode (Oudin 2004) à la station d'Ain Berda sur la période 1973-2003.

## **8 Chapitre 3 : Essai d'infiltration sur le bassin versant de Madjez Ressoul**

---

### **8.1 Introduction**

Les méthodes de mesure de l'infiltration in situ vise à connaître le flux vertical de l'eau en régime constant. Elles se différencient entre elles par le nombre d'anneaux employés. Le maintien ou non d'une lame d'eau d'épaisseur constante et la surface occupée par l'anneau central sur lequel se fait la mesure. Les principales sources d'erreurs sont : la manière d'apporter l'eau et d'implémenter l'anneau. Le respect du niveau de la lame d'eau dans l'anneau et l'arrêt des mesures avant que le sol a atteint son gonflement maximum. Les mesures d'infiltration au laboratoire visent à déterminer la conductivité hydraulique en milieu saturé ( $k_s$ ) ; La direction de l'écoulement et la valeur du gradient différencient les principales méthodes. La durée de la mesure, la qualité de l'eau et la réalisation du prélèvement peuvent être sources d'erreur.

Le taux d'infiltration est généralement déterminé à partir des données de terrain. Plusieurs méthodes et types d'équipement ont été utilisés pour mesurer le taux d'infiltration, mais les méthodes principales sont l'inondation de bassins ou de sillons, l'aspersion (pour simuler la pluie) et la mesure de la pénétration d'eau par des cylindres (anneaux d'infiltromètre).

- Dans nous cas ont doit mesurer la pénétration d'eau par des cylindres (infiltromètre avec double anneaux).
- L'infiltromètre à double-anneau est un instrument simple utilisé pour déterminer la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol. La capacité d'infiltration est définie comme la quantité d'eau, par surface et unité de temps, qui pénètre dans le sol.
- Quantité d'eau, par surface et unité de temps, qui pénètre dans le sol.

### **8.2 Description de l'infiltromètre**

L'instrument utilisé pour connaître les taux d'infiltration était l'infiltromètre à double anneau, cet instrument est généralement utilisé pour déterminer la perméabilité des sols dans les cas suivants : les projets d'installations d'irrigation et de drainage, l'étude de l'effet du travail du sol, la détermination de l'intensité des précipitations artificielles, et le pilotage de l'irrigation.

Il comporte deux parties : l'une est un anneau extérieur de 600 mm de diamètre et l'autre est un anneau intérieur de 300 mm de diamètre. Les deux anneaux ont une même longueur de 300mm. Les deux anneaux étaient remplis d'eau à la même profondeur et la lecture initiale du niveau de l'eau a été notée. La profondeur de l'eau dans l'anneau interne de l'infiltromètre a été notée à intervalles réguliers jusqu'à ce que le taux d'infiltration se stabilise. Les observations expérimentales du taux d'infiltration initial et final ont été répertoriées dans le (tableau 1).

Tous les tests d'infiltration ont été effectués sur 26 sites différents de Madjez Ressoul pour traiter la variabilité des taux d'infiltration. Le taux d'infiltration initial varie de 0.5 cm / min à 2.5 cm/min et les taux d'infiltration finaux vont de 0.1 cm / min à 0.6.cm / min.

### **8.3 Objectifs attendus des essais**

- L'essai d'infiltromètre double anneau ouvert est un essai qui permet d'estimer le coefficient de perméabilité sur une tranche superficielle de matériau.
- L'essai consiste à produire une infiltration sous une faible charge hydraulique constante. Le principe de cet essai repose sur la mesure d'un volume d'eau s'infiltrant à travers une surface connue par unité de temps sous une charge hydraulique constante, après saturation de la zone testée.
- L'objectif de ces essais est d'estimer le taux d'infiltration, d'évaluer l'écoulement de l'eau en milieu non saturé et d'en déduire la conductivité hydraulique en place.

### **8.4 Déroulement des essais**

Durant la période de 14/04/2019 jusqu'à 13/05/2019 (1 mois) nous avons effectué notre campagne d'essais sur terrains. Au total 28 essais ont été faits et 25 ont été retenus. L'objectif de la mesure c'est de contrôler la vitesse durant laquelle l'eau dans l'infiltromètre se vide.

La mesure a été prise à chaque 2 minutes. L'idéal c'est de faire l'essai pendant des périodes différentes pour prendre en considération l'effet de la variation du climat. Dans notre cas nous avons effectué par ailleurs des essais de teneur en eau au laboratoire pour rester axer au sujet traité.

La seule mesure peut durer plusieurs heures, cela dépend fortement de l'état initial du sol.

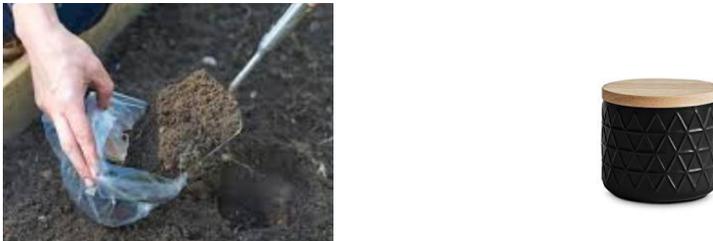
## 8.5 Matériels utilisés

La mise en place des deux anneaux nécessite qu'ils doivent rester concentrique, cette condition a été assurée par les redresser légèrement à l'aide d'un marteau et un niveau maçon. Ce dernier sert à maintenir les deux anneaux de l'infiltromètre au même niveau.



**Figure 20 :** Niveau maçon et marteau pour l'implémentation de l'infiltromètre.

L'importance d'avoir une pelle sous la main et une boîte cert à prélever les échantillons de sol à la bonne profondeur et de les préserver pour des mesures au laboratoire.



**Figure 21 :** Boîtes et sac pour le prélèvement de l'échantillon du sol

∴

## 8.6 Déroulement de l'expérimentation

La méthode de mesure consiste à choisir une zone représentative d'un état de surface du sol, si possible en période sèche, sans pluie depuis quelques jours. L'accès à la zone choisie a été fait par un GPS.



**Figure 22** : application téléphonique contient un GPS

L'étape indispensable dans la mesure du potentiel d'infiltration est d'enfoncer délicatement et bien verticalement le cylindre en perturbant le moins possible la surface du sol. Un léger coup de pissette mouillant l'intérieur des parois du cylindre peut aider à faire pénétrer le cylindre de 5 cm dans le sol. En assurant l'étanchéité autour du cylindre et en y posant un cordon d'argile.

Avant de verser rapidement de l'eau claire (sur une éponge pour casser l'énergie de chute) jusqu'à atteindre un niveau fixe à l'infiltromètre, une règle de lecture du niveau d'eau (au centimètre) a été collé sur l'anneau intérieur.



**Figure 23** : Règle et seaux de 6L (plus de 100L pour chaque point)

Après la vérification du niveau des deux anneaux, on commence par verser l'eau dans l'anneau extérieur et intérieur au même temps. En allumant le chronomètre aussi. Un pas de temps de 2min est fixé comme intervalle entre chaque deux lectures successives. Les mesures sont arrêtées au moment de saturation du sol.



**Figure 24** : Etapes et matériels utilisés pour l'implémentation de l'infiltromètre double anneaux

## 8.7 Les difficultés dans le travail

- Accès au point d'essai : Il était très difficile d'accéder aux points spécifiés en raison de la difficulté du terrain de bassin versant, spécialement sur les zones de forte altitude.
- Disponibilité de l'eau : car chaque expérience nécessite au moins 100 litres d'eau.
- Durée de l'essai d'infiltration, sans les préparatifs, est en moyenne de 3 heures (le minimum de durée était de 3 heures et le maximum été de 5 heures).
- En a quelque point situes dans des régions des paysans, mais ces derniers ne veulent pas laissez de travailler là-bas seulement après une long débat (comportement rurale).
- 

## 8.8 Présentation des points des essais

Les points ont été choisis en fonction la nature du sol et la distribution sur le bassin versant car la durée de mesure de l'infiltration est liée directement à la structure et la texture du sol, par exemple :

- Une mesure de vitesse d'infiltration d'eau sur sol sableux prendra beaucoup moins de temps (quelques minutes à dizaines de minutes) que cette même mesure sur sol argileux (quelques heures à quelques jours),
- Une vitesse d'infiltration d'eau sur sol aéré (labouré) prendra beaucoup moins de temps que cette même mesure sur sol compact, pour une classe de texture similaire

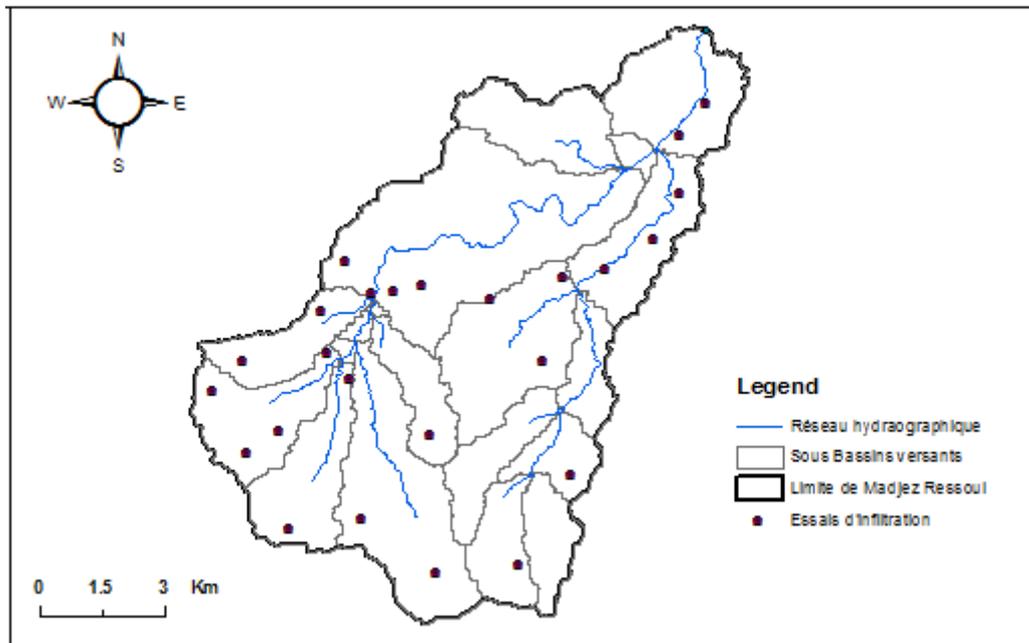


Figure 25 : Localisation des points retenus aux essais d'infiltration

## 8.9 Présentation des résultats

29 points ont été sélectionnée et 25 ont été retenue pour le calcul des paramètres d'infiltration. Un exemple de calcul vif concerne le point numéro 24 est présenté ici.

Tableau 15 : caractéristiques d'un des points retenus.

Nom de point	24
Date	12/05/2019
Coordonné	X = 364750.494 Y = 4050669.699

La formule de Horton est une relation empirique qui exprime une décroissance de l'infiltration en fonction du temps à partir d'une valeur initiale (soit exponentiellement, soit comme une fonction quadratique du temps) qui tend vers une valeur limite, en général  $K_s$  mais pouvant être proche de zéro. Selon Horton, la capacité d'infiltration (ou taux d'infiltration) s'exprime comme mentionnée auparavant. L'utilisation de ce type d'équation, quoique répandue, reste limitée, car la détermination des paramètres,  $i_0$ ,  $i_f$ , et  $\gamma$  présente certaines difficultés pratiques. La démarche de calculs de ces paramètres a été récapitulé dans le tableau suivants, ou plusieurs étapes ont été suivi pour arriver à représenter graphiquement l'évolution de la capacité d'infiltration dans le temps.

**Tableau 16 :** Etapes de calculs de la capacité d'infiltration dans le temps.

Temps de départ (min)	Hauteur d'eau	Hauteur cumulative d'infiltration (cm)	Intervalle de temps (min)	Interval de profondeur incrémenté	Taux d'infiltration initiale (cm/h)	ln(fp-fc)	Temps (heures)
2	9,6	1,1	2	1,1	33	3,49	0,03
4	10,5	2	2	0,9	27	3,28	0,07
8	11,9	3,4	2	0,7	21	3,03	0,13
10	12,5	4	2	0,6	18	2,87	0,17
12	13	4,5	2	0,5	15	2,69	0,20
38	18,3	9,8	4	0,3	4,5	1,44	0,63
46	18,8	10,3	4	0,2	3	0,99	0,77
64	19,5	11	6	0,1	1	-0,36	1,07
78	19,7	11,2	8	0,1	0,75	-0,80	1,30
160	20,7	12,2	10	0,1	0,6	-1,20	2,67
220	21,2	12,7	20	0,1	0,3		3,67

Les paramètres obtenus après le traitement de données obtenues in situ a donné la variation du taux d'infiltration en cm/h pour chaque point de mesure et la profondeur cumulative d'infiltration en cm.

**Tableau 17 :** Paramètres de l'équation d'infiltration d'Horton.

Temps(heures)	Taux d'infiltration initiale (cm/h)	Hauteur cumulative d'infiltration (cm)
0,03	33	1,1
0,07	27	2
0,13	21	3,4
0,17	18	4
0,20	15	4,5
0,63	4,5	9,8
0,77	3	10,3
1,07	1	11
1,30	0,75	11,2
2,67	0,6	12,2
3,67	0,3	12,7

L'ajustement graphique de  $\ln(f_0-f_c)$  a permis la détermination des paramètres de l'équation d'Horton

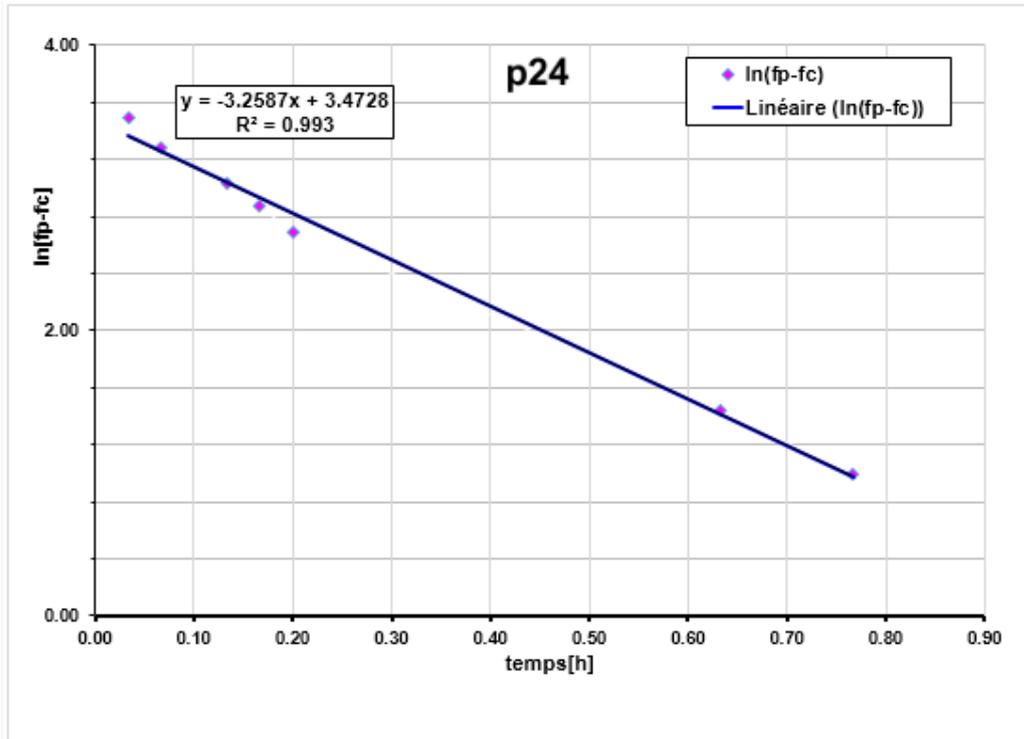


Figure 26 : Equation de l'ajustement de  $\ln (fp-fc)$  en fonction du temps.

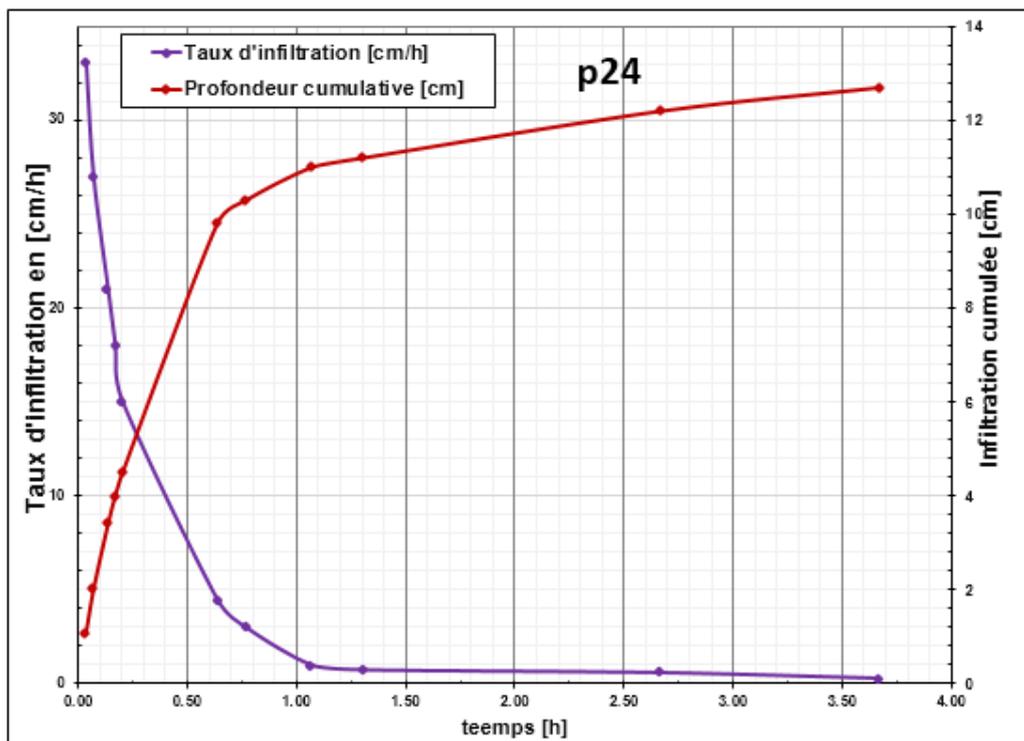


Figure 27 : Courbe du taux d'infiltration initiale et de la profondeur cumulative d'infiltration.

D'après la courbe de tendance le coefficient de l'équation d'Horton  $k$ , ainsi que le taux d'infiltration initiale est finale pour le point numéro 24 sont égales à :

**Tableau 18 :** Coefficient de diminution exponentiel d'infiltration, fonction de la teneur en eau.

<b>k</b>	<b>3,26</b>
<b>Ln (f<sub>0</sub>-f<sub>c</sub>)</b>	3,47
<b>f<sub>0</sub>-f<sub>c</sub></b>	32,22
<b>f<sub>0</sub></b>	33

**f<sub>0</sub>**: en cm.h<sup>-1</sup>, c'est l'intensité maximale d'infiltration quand les sols sont secs. Les valeurs de f<sub>0</sub>, f<sub>c</sub> et k doivent être évaluées à partir de données expérimentales sur les processus d'infiltration, à l'aide de l'infiltromètre double anneau.

**F<sub>c</sub>**: en cm.h<sup>-1</sup>, c'est l'intensité limite d'infiltration, atteinte quand la teneur en eau des sols est maximale. Cette intensité est comparable à la conductivité hydraulique à saturation du matériau, qui peut varier de façon considérable. On retient généralement des valeurs de 10<sup>3</sup> à 10<sup>2</sup> mm/h pour les sols sableux, de 10<sup>2</sup> à 10<sup>-1</sup> mm/h pour les sols argileux. On peut également utiliser des formules comme celles de Kozeny-Karman ou Allen-Hazen, même si leur efficacité semble très limitée (Musy et Soutter, 1991).

**K**: en h<sup>-1</sup>, c'est le coefficient de la diminution exponentielle de l'intensité d'infiltration, fonction ici de la teneur en eau du sol.

Ces mêmes paramètres ont été calculé pour un nombre de 25 points, et le tableau (Tableau 19) illustre ces valeurs.

**Tableau 19 :** Paramètre d'Horton pour les 25 points retenus au calcul.

N°	f <sub>0</sub>	k	f <sub>c</sub>	t [heures]	f
p1	30	4,90	2,75	1,16	2,84
p2	75	2,65	0,05	3,33	0,06
p3	30	2,18	0,6	2,2	0,84
p4	30	2,33	0,3	3,9	0,30
p5	27	1,91	0,3	3,9	0,32
p6	15	1,51	0,3	4	0,34
p7	33	2,21	0,6	3,05	0,64
p8	39	2,68	0,6	2	0,78
p9	33	2,4	1	2,38	1,11
p10	36	2,42	0,3	3,71	0,30
p11	30	2,07	1	2,25	1,28
p12	36	3,41	1,2	1,83	2,20
p13	29,2	1,52	1	2,35	1,79
p14	39	2,97	0,4	4,18	0,40
p15	45	3,49	1,5	4,06	1,50
p16	30	2,6	0,3	4,16	0,30
p17	36	3,09	0,3	3,7	0,30
p18	30	2,74	0,75	3,73	0,75
p19	33	3,21	0,6	3,93	0,60
p20	15	2,02	0,75	4,33	0,75
p21	33	2,64	0,3	4,33	0,30
p22	30	2,92	0,3	4	0,30
p23	30	2,99	1,5	3,73	1,50
p24	33	3,25	0,3	3,66	0,30
p25	45	3,96	1,5	3,76	1,50

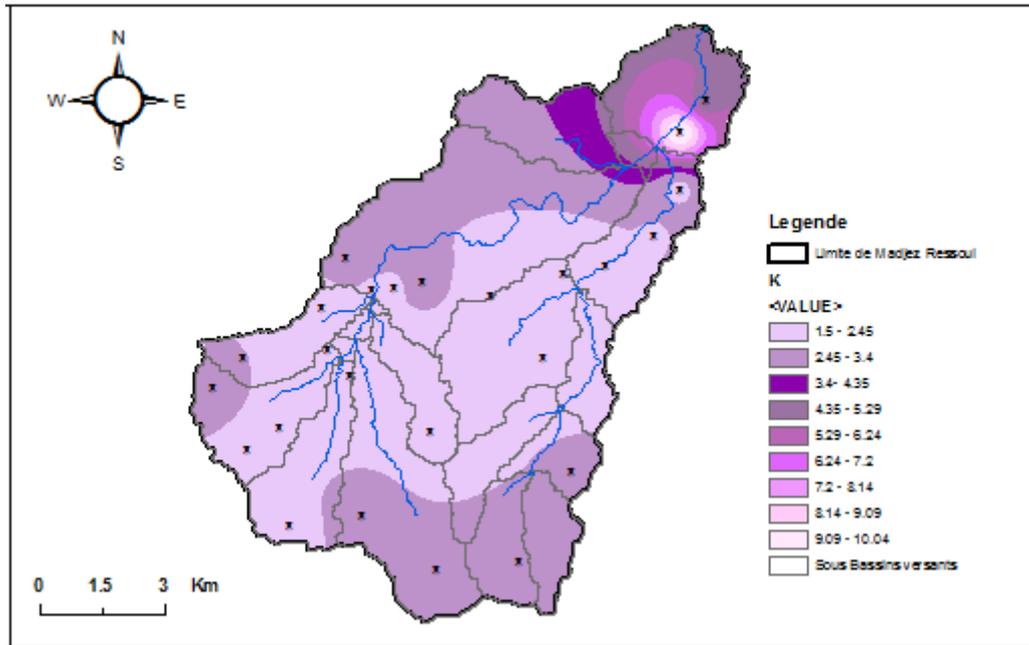
Les observations expérimentales du taux d'infiltration initial et final ont été répertoriées dans le (tableau 20).

Tous les tests d'infiltration ont été effectués sur 25 sites différents de Madjez Ressoul pour traiter la variabilité des taux d'infiltration. Le taux d'infiltration initial varie de 0.5 cm / min à 2.5 cm/min et les taux d'infiltration finaux vont de 0.1 cm / min à 0.6.cm / min.

**Tableau 20** : Valeur d'infiltration initiales et finale à un pas de temps égale à 2min.

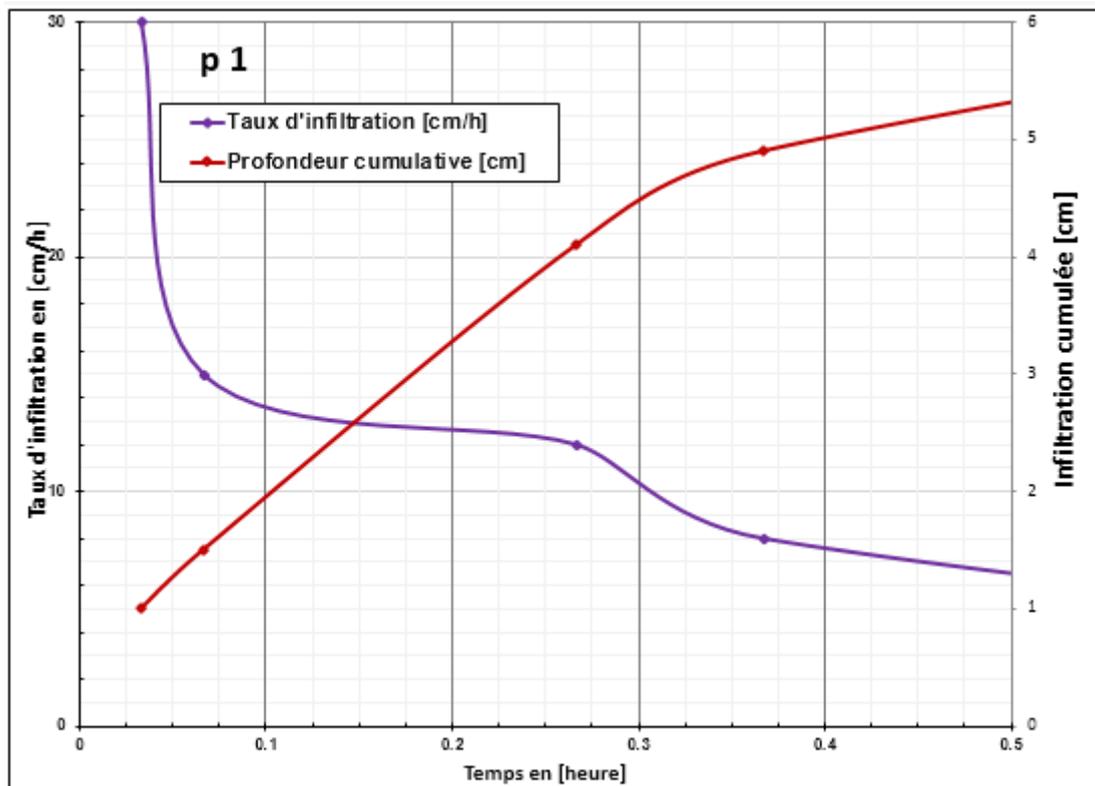
<b>N°</b>	<b>Infiltration initiale à t=2min [cm/min]</b>	<b>Infiltration finale à t=min [cm/min]</b>
<b>p1</b>	1	0,6
<b>p2</b>	2,5	0,1
<b>p3</b>	1	0,2
<b>p4</b>	1	0,1
<b>p5</b>	0,9	0,1
<b>p6</b>	0,5	0,1
<b>p7</b>	1,1	0,1
<b>p8</b>	1,3	0,2
<b>p9</b>	1,1	0,1
<b>p10</b>	1,2	0,1
<b>p11</b>	1	0,2
<b>p12</b>	1,2	0,2
<b>p13</b>	1	0,1
<b>p14</b>	1,3	0,1
<b>p15</b>	1,5	0,1
<b>p16</b>	1	0,1
<b>p17</b>	1,2	0,1
<b>p18</b>	1	0,1
<b>p19</b>	1,1	0,1
<b>p20</b>	0,5	0,1
<b>p21</b>	1,1	0,1
<b>p22</b>	1	0,1
<b>p23</b>	1	0,2
<b>p24</b>	1,1	0,1
<b>p25</b>	1,5	0,1

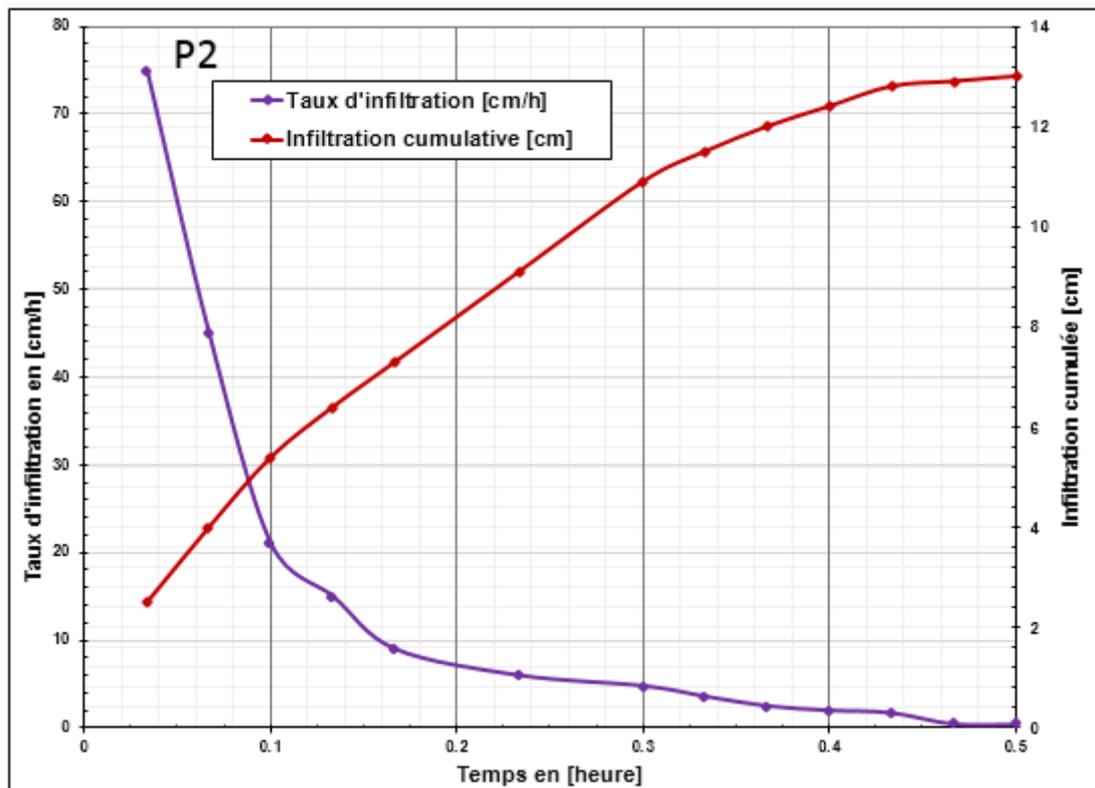
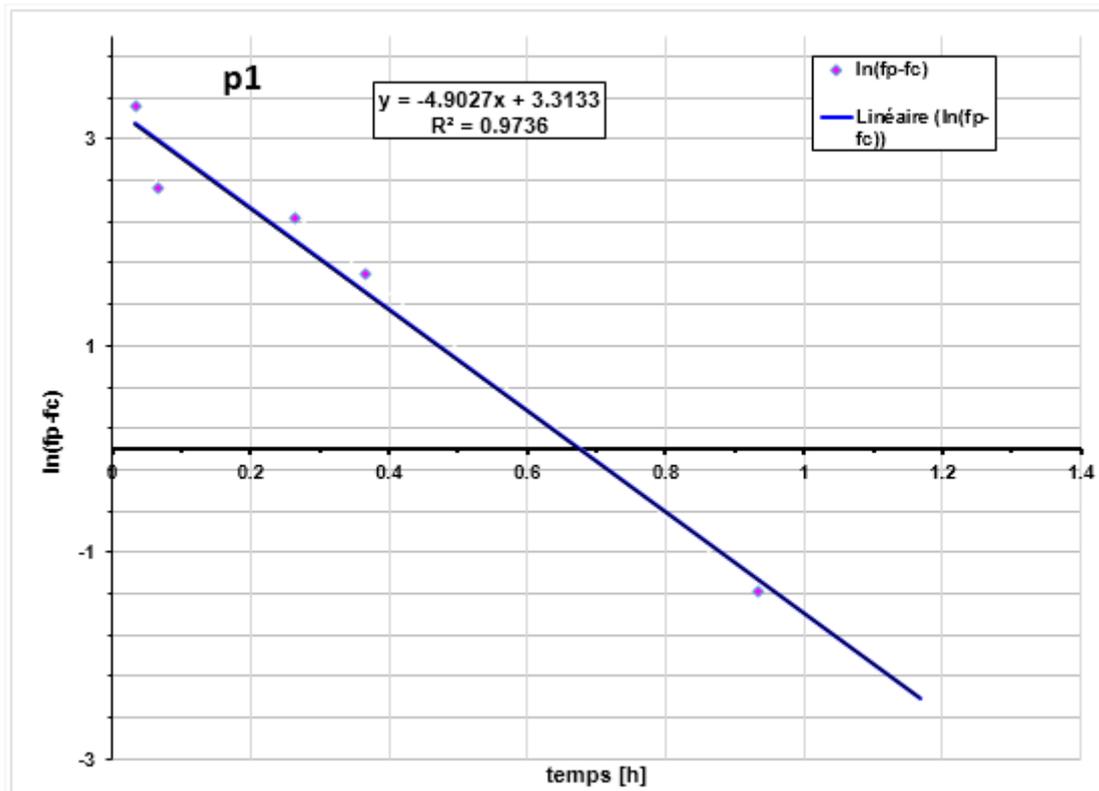
La cartographie des mêmes paramètres sous ArcGIS, en utilisant la fonction de L'interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW) détermine les valeurs de cellule via la combinaison pondérée de manière linéaire d'un ensemble de points d'échantillonnage.

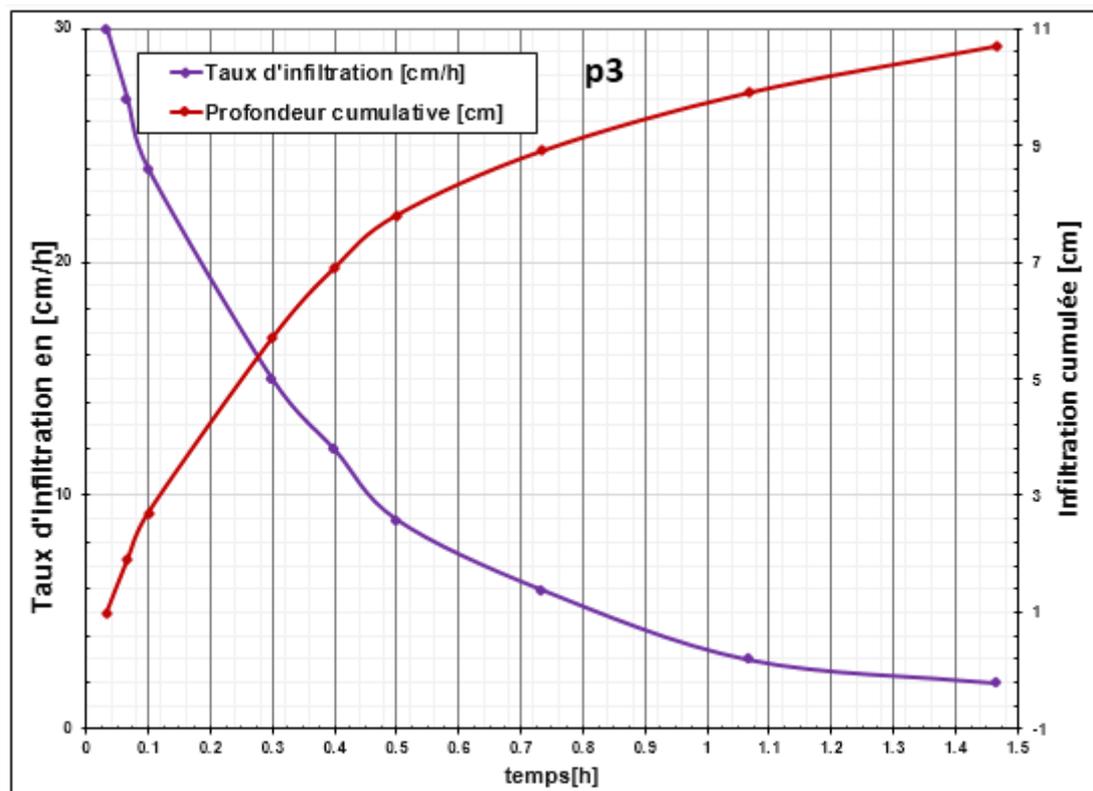
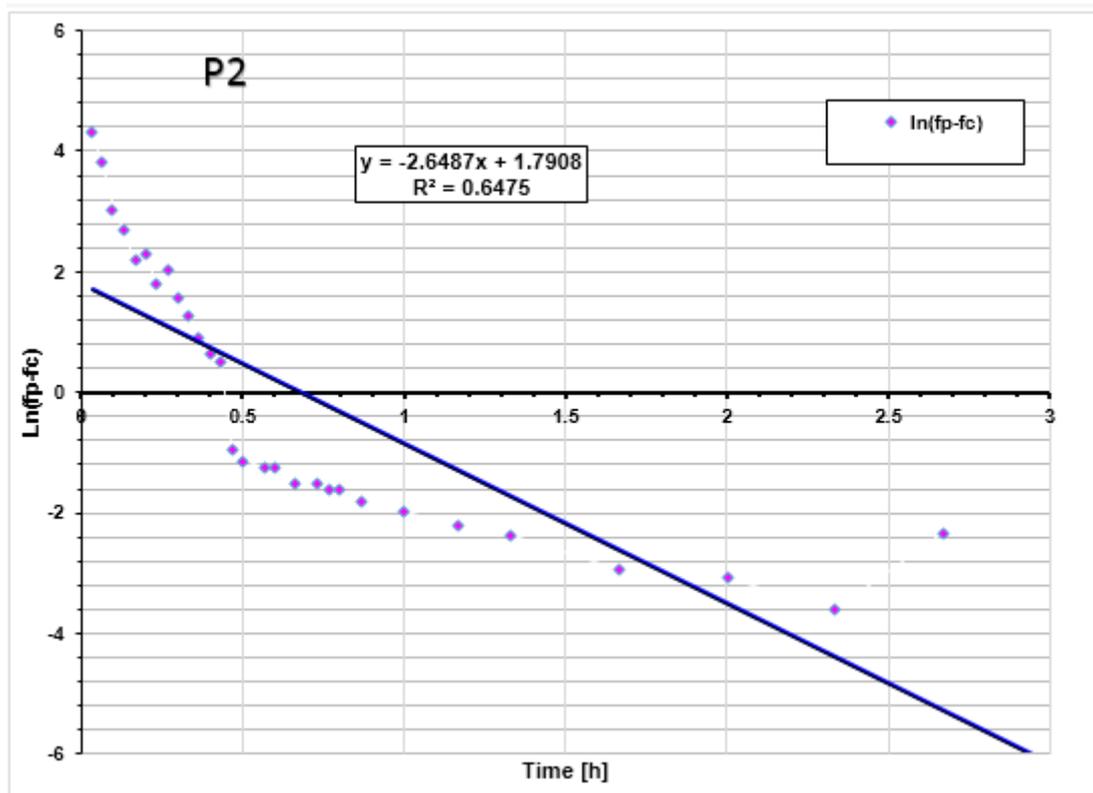


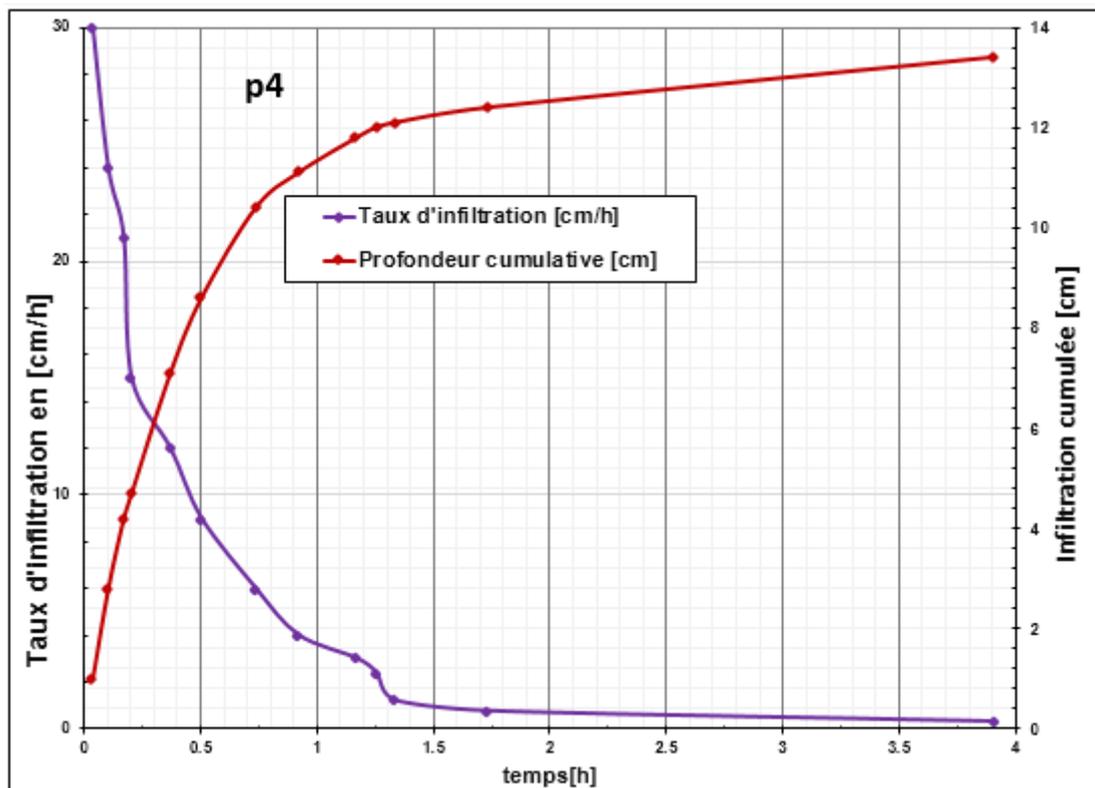
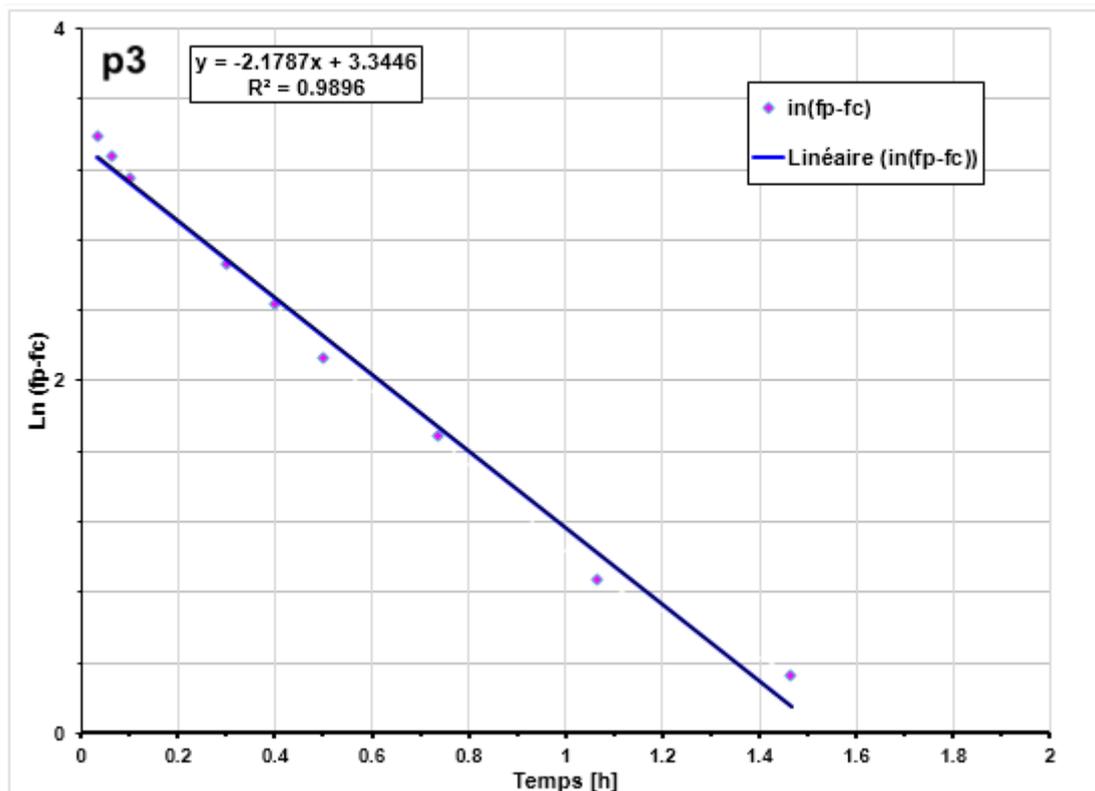
**Figure 28 :** Valeurs du coefficient de décroissance d'Horton pour le bassin versant de Medjaz Ressoul.

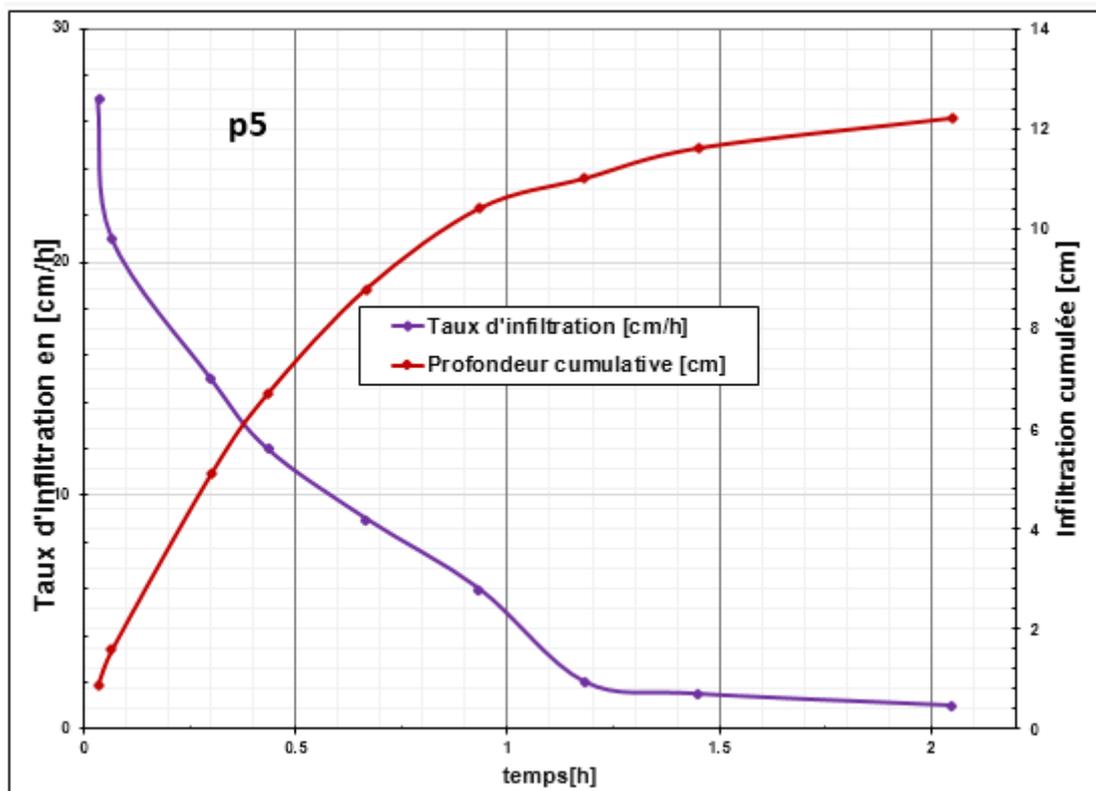
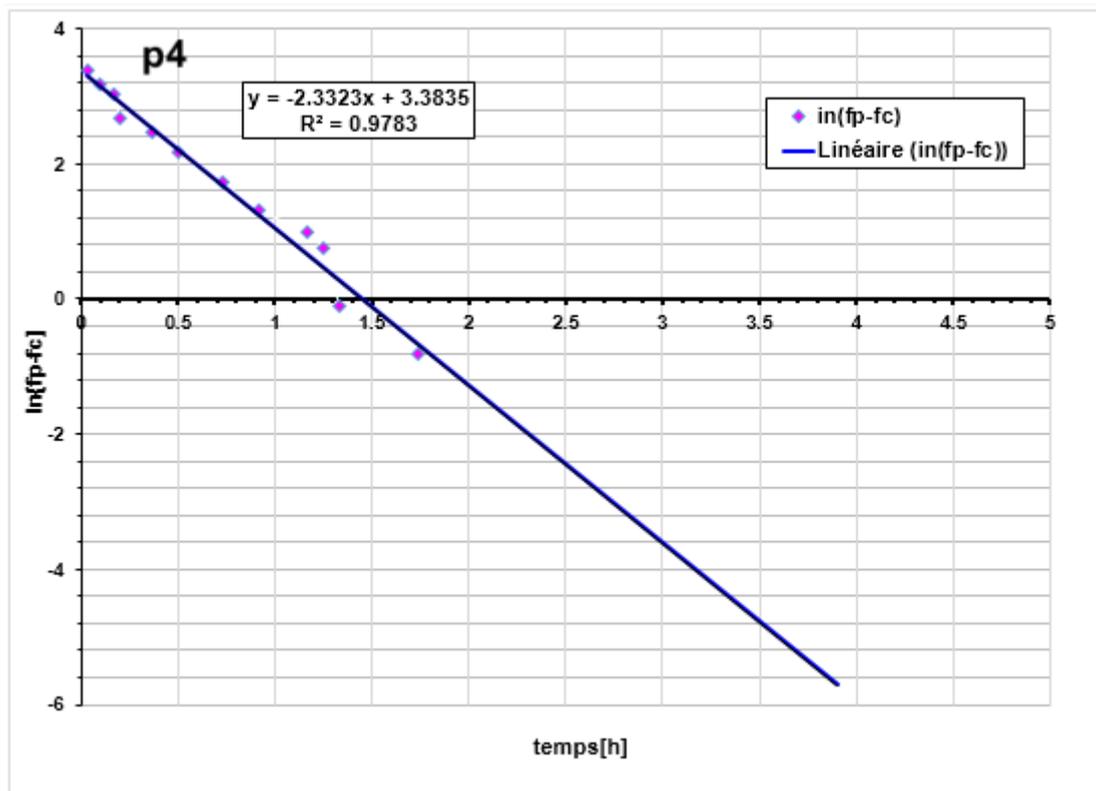
Les courbes suivantes montrent clairement la variation du taux d'infiltration pour chaque essai d'infiltration, ainsi les ajustements linéaires, détaillent la fonction utilisée.

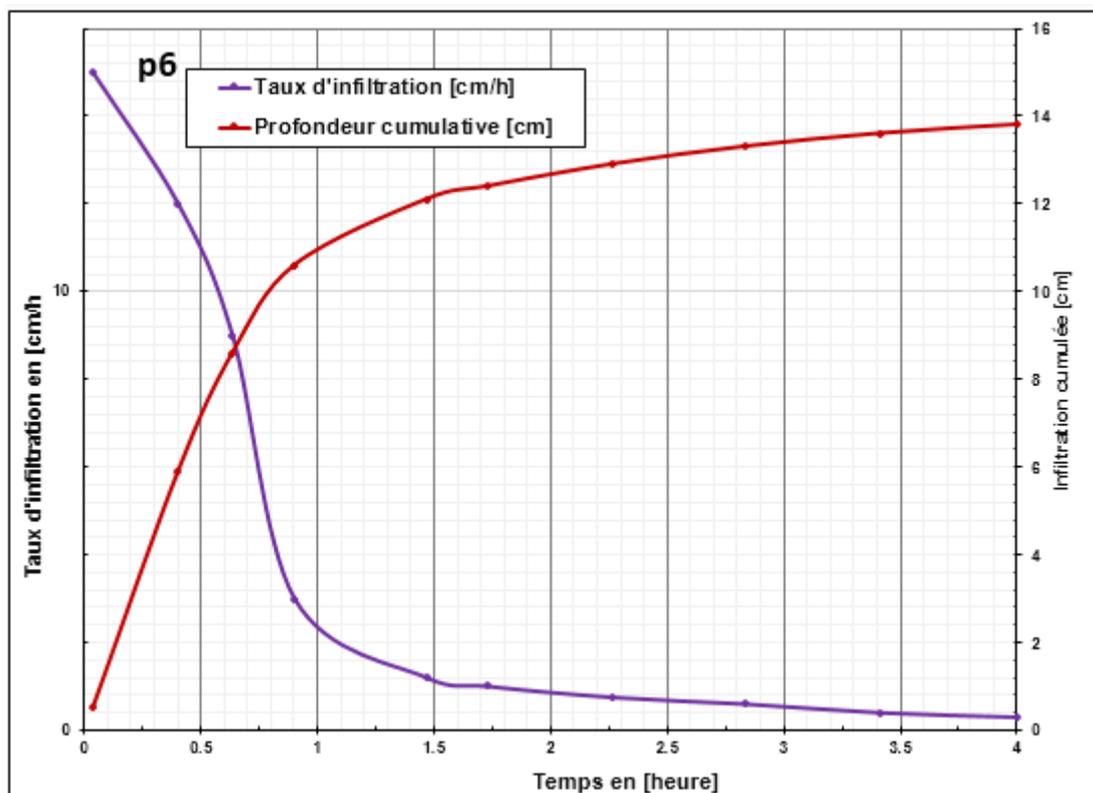
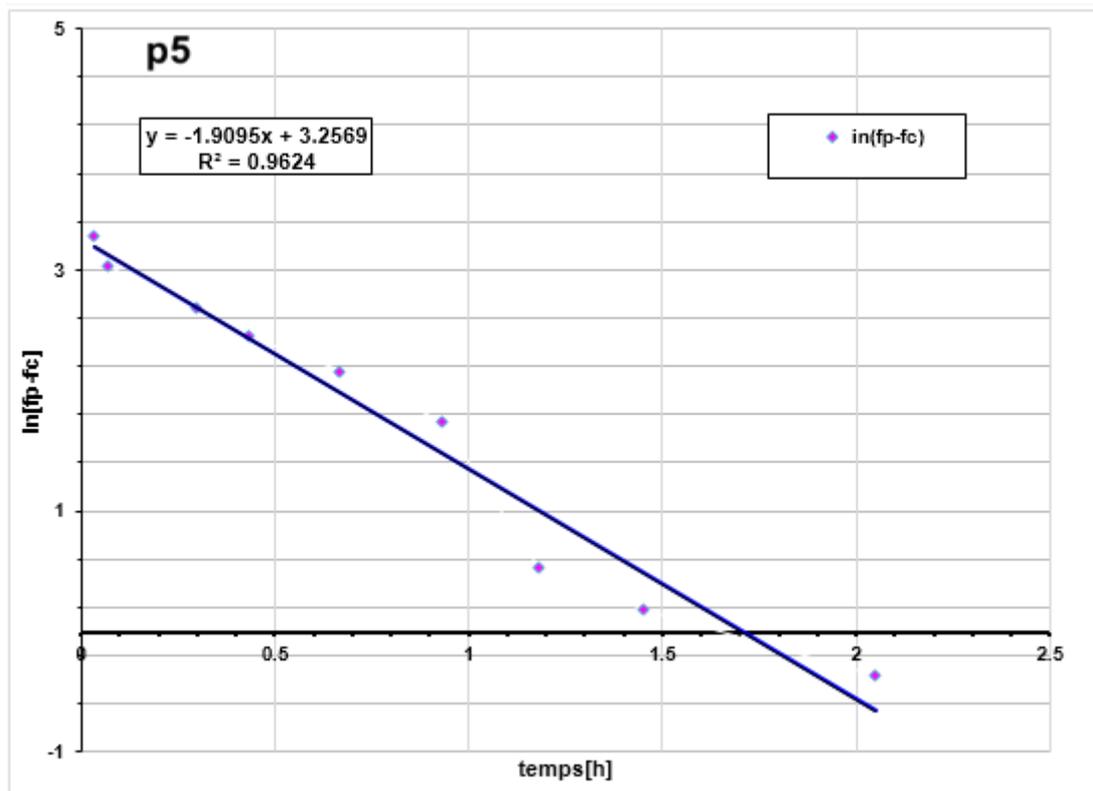


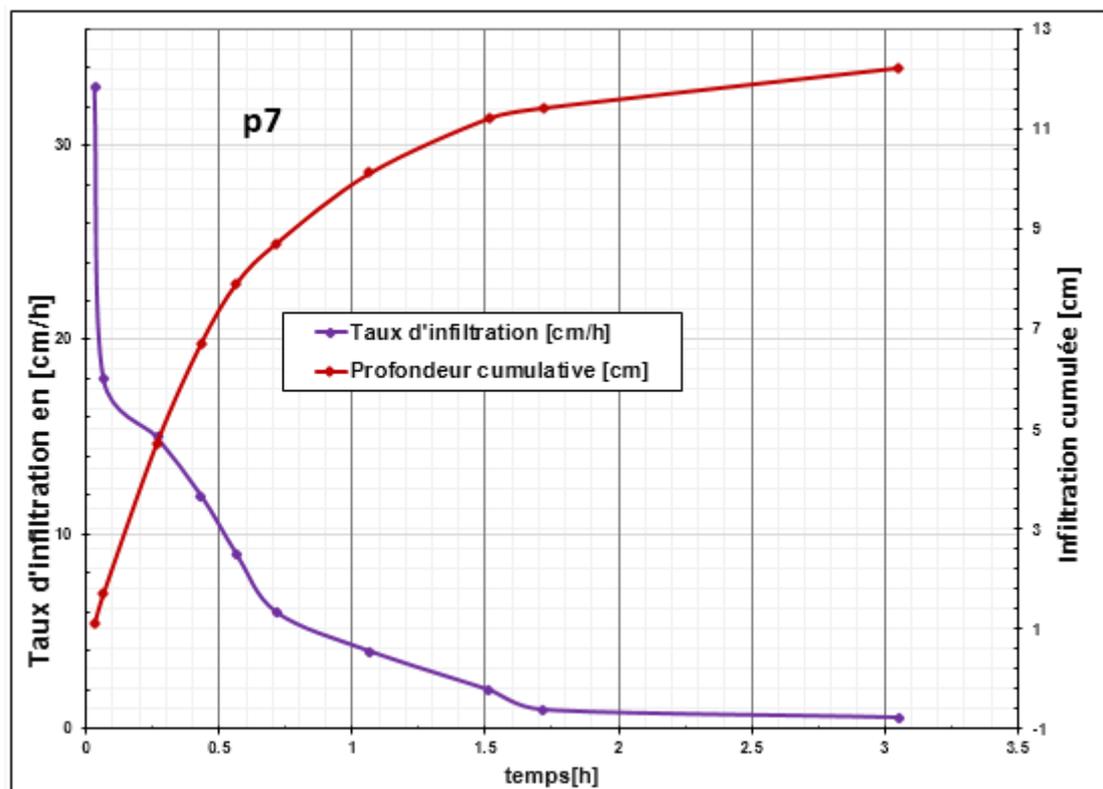
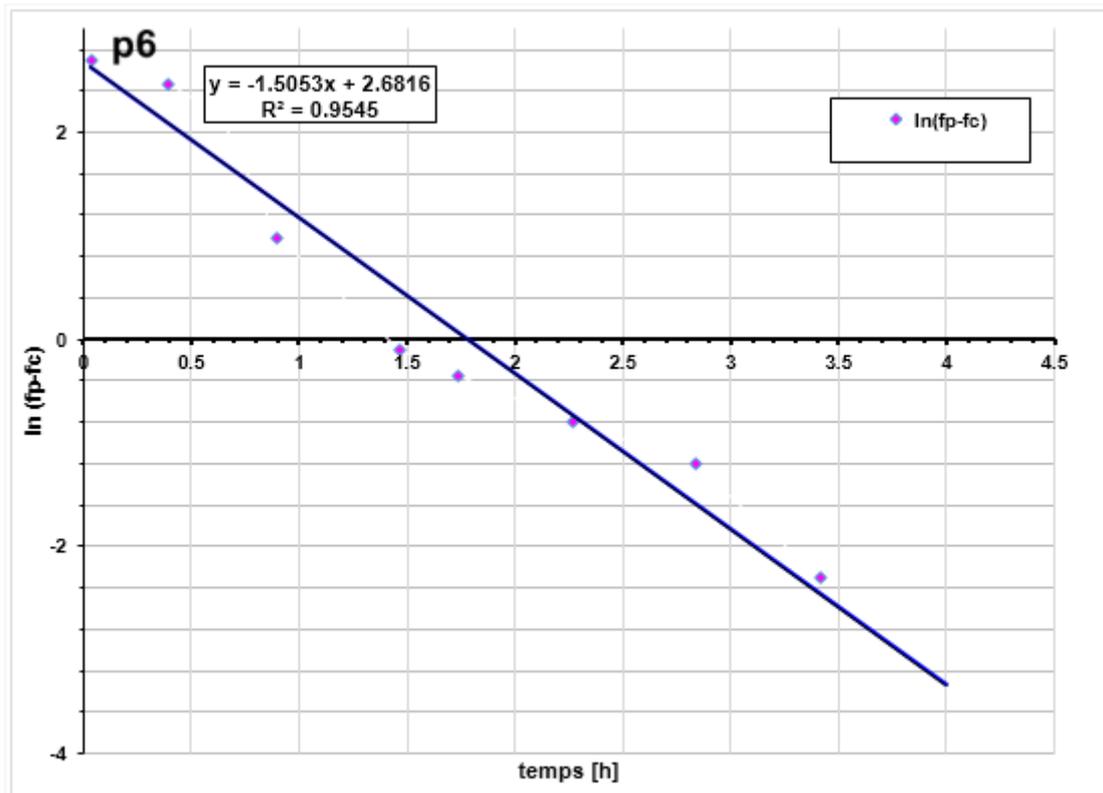


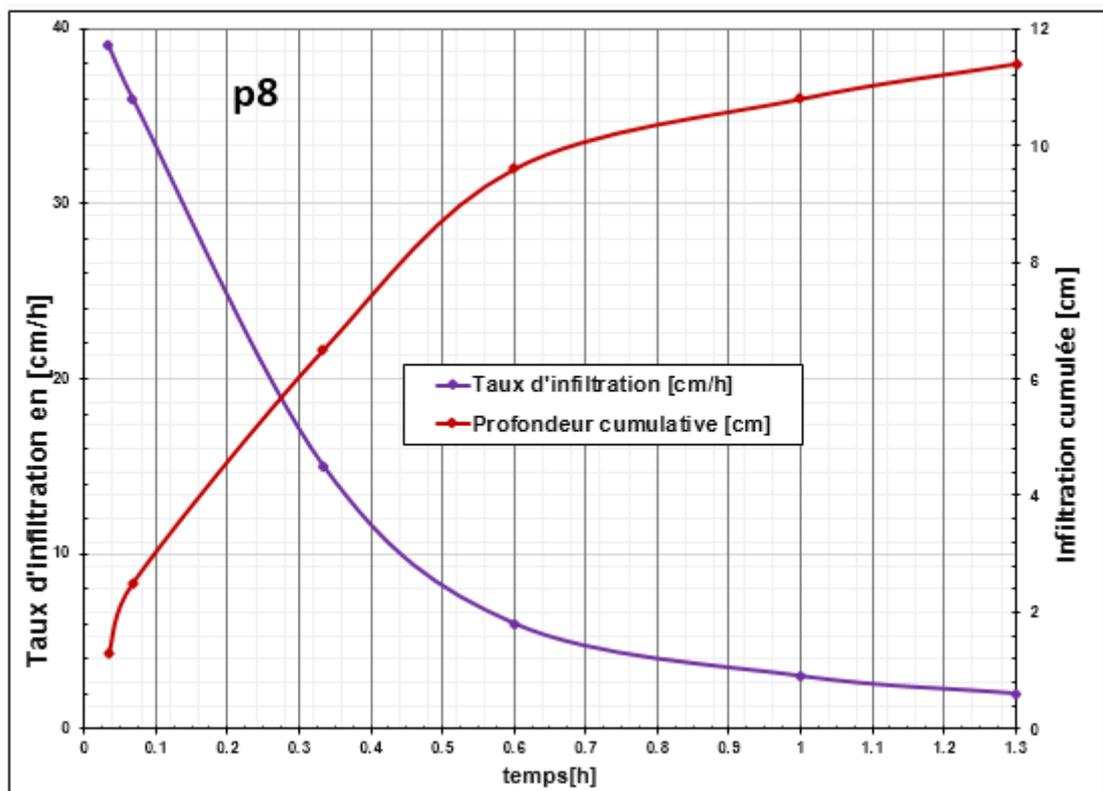
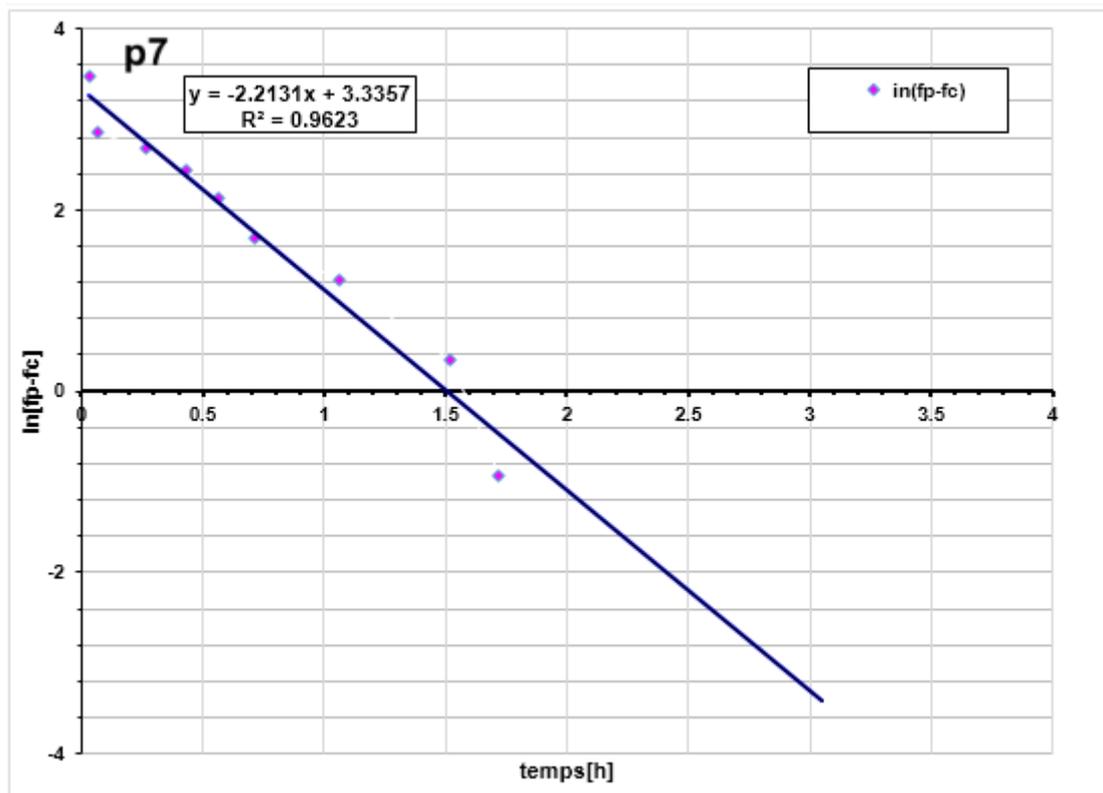


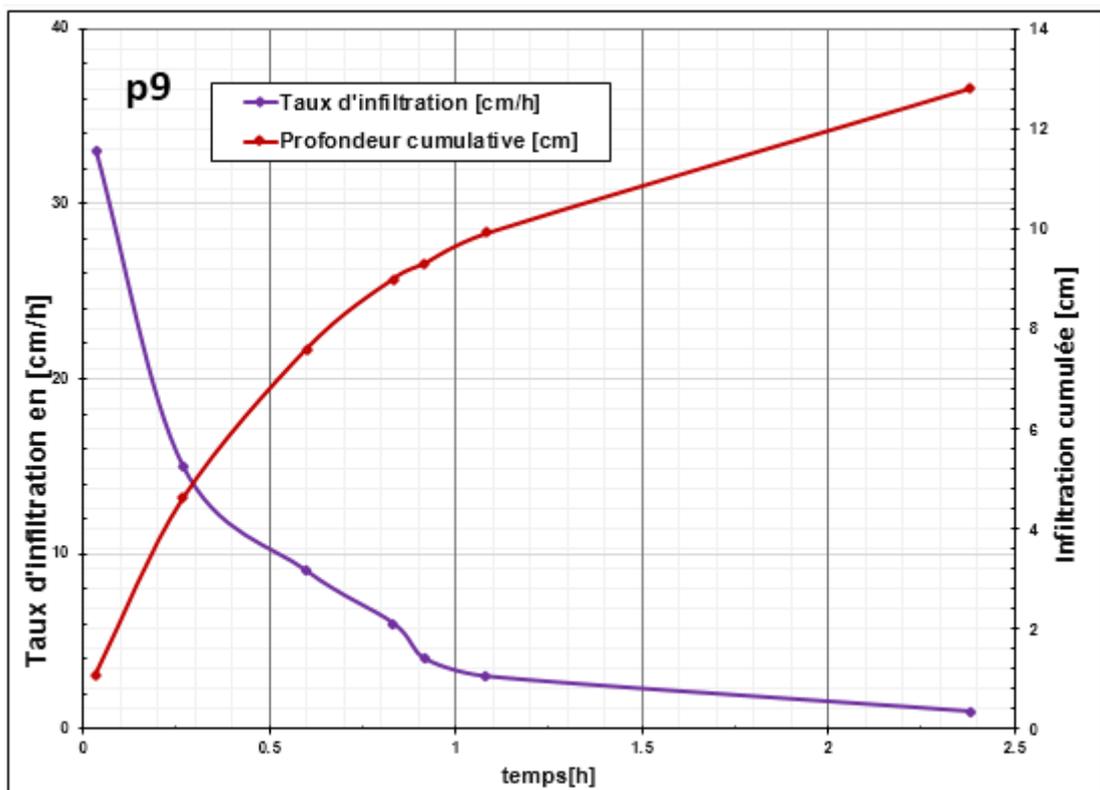
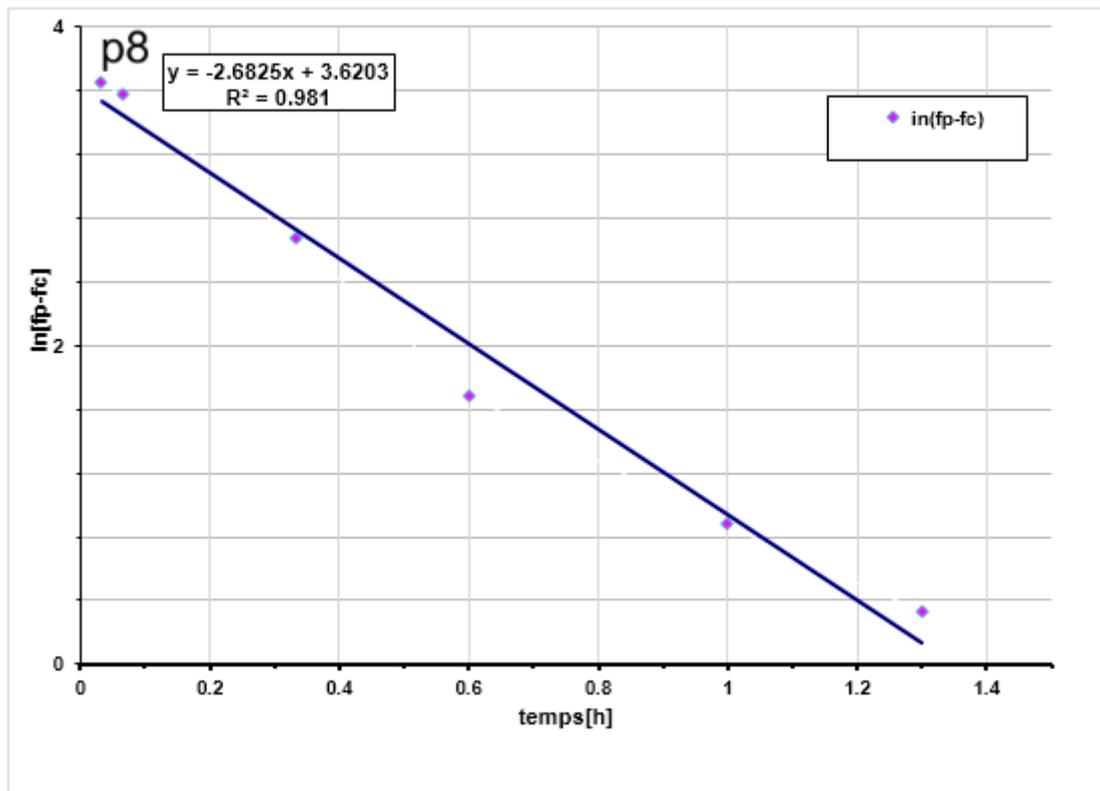


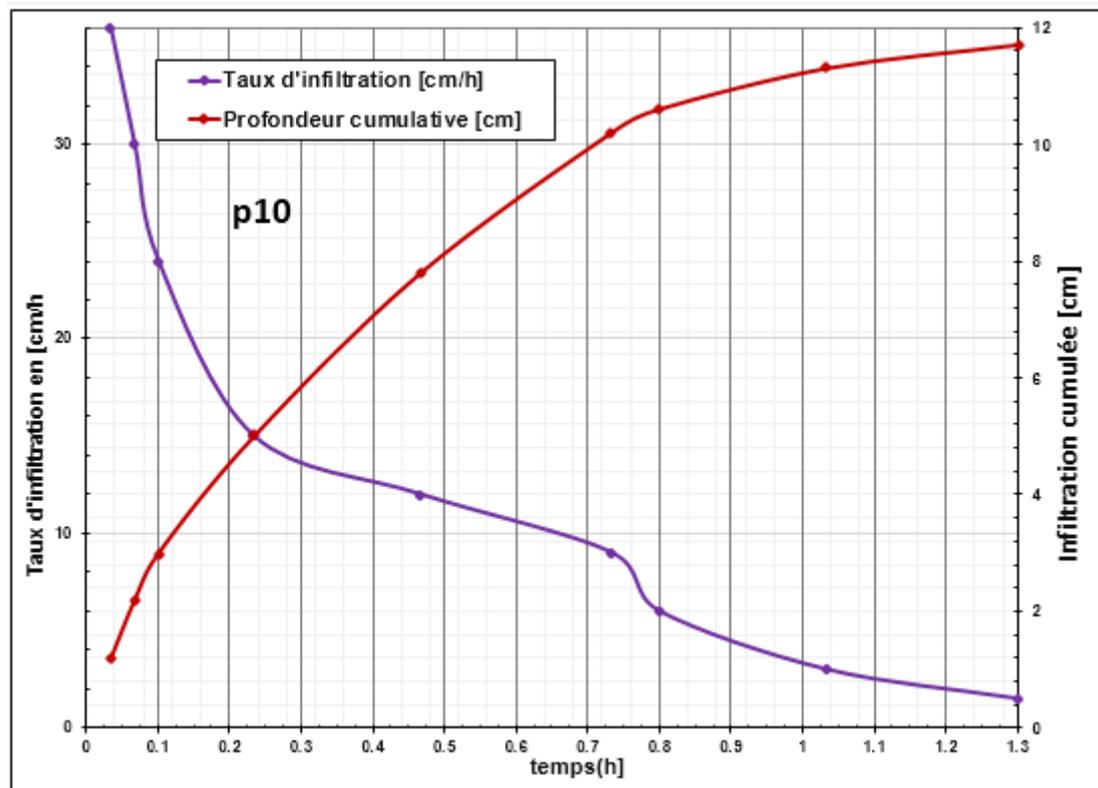
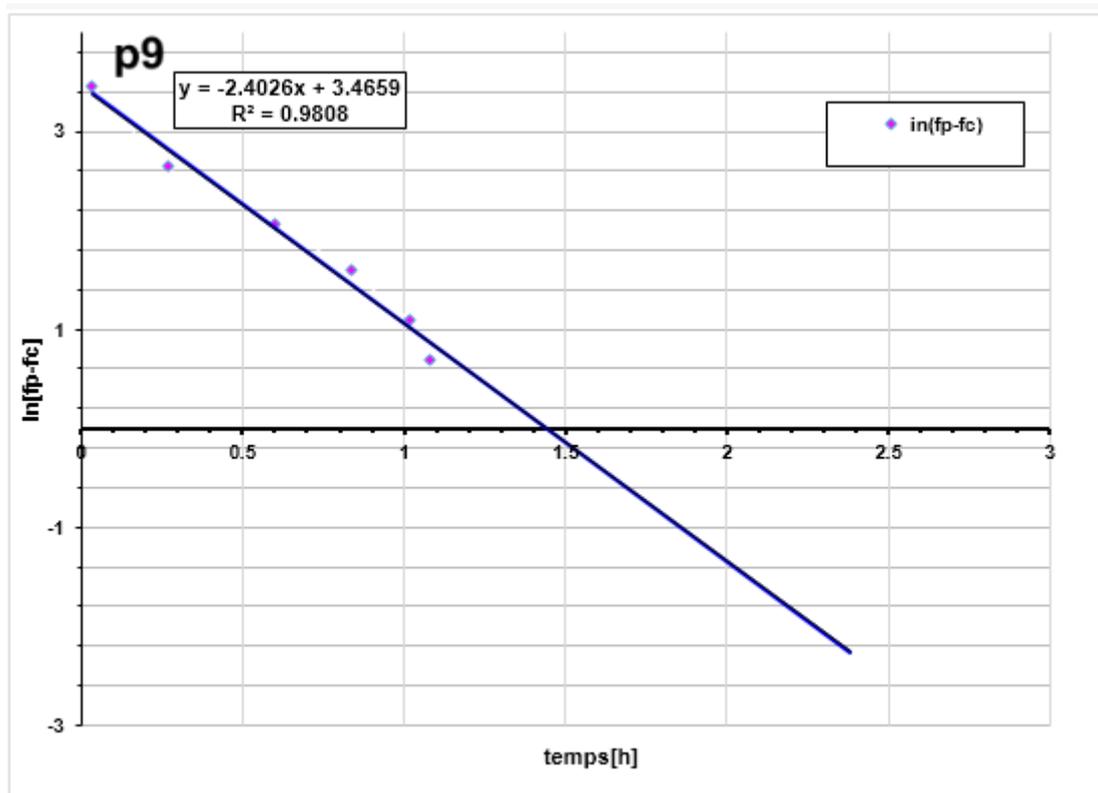


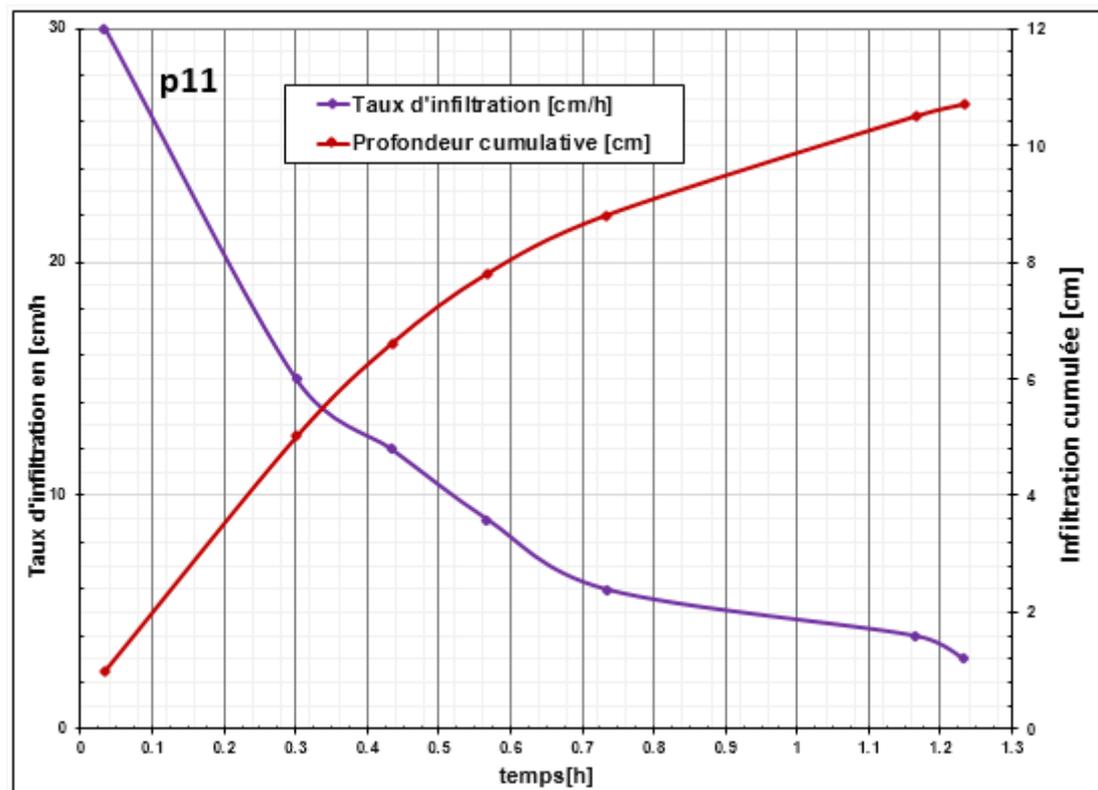
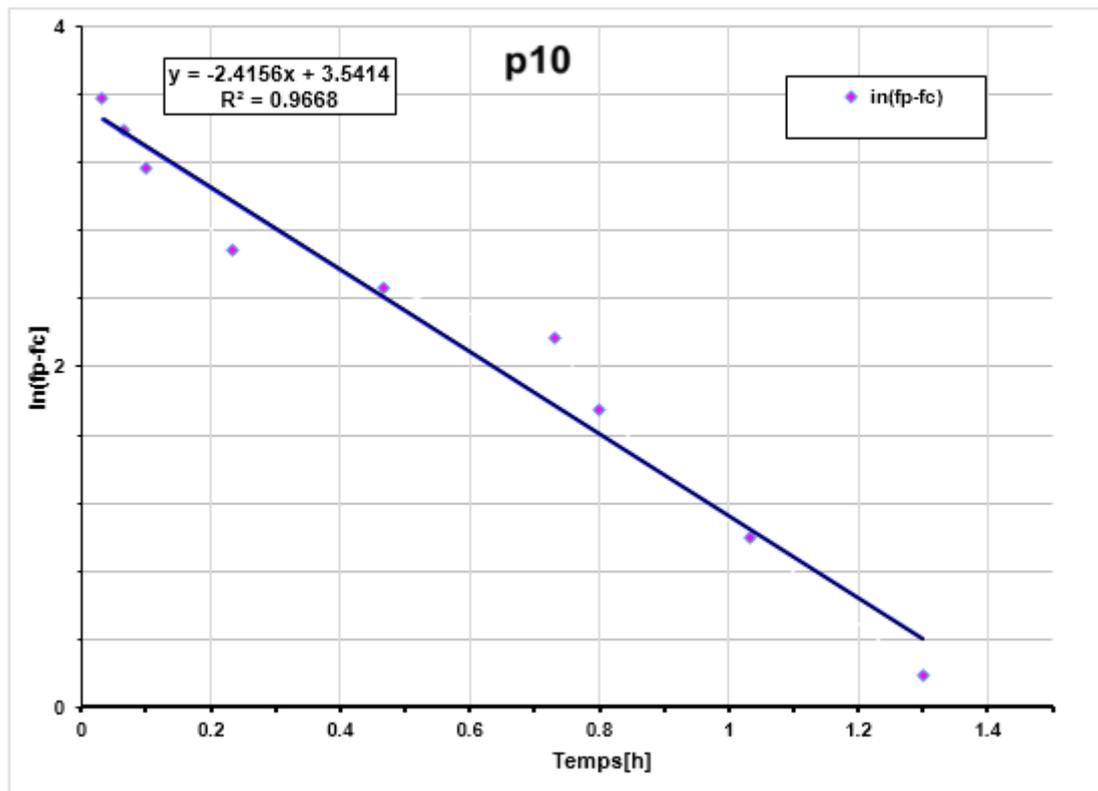


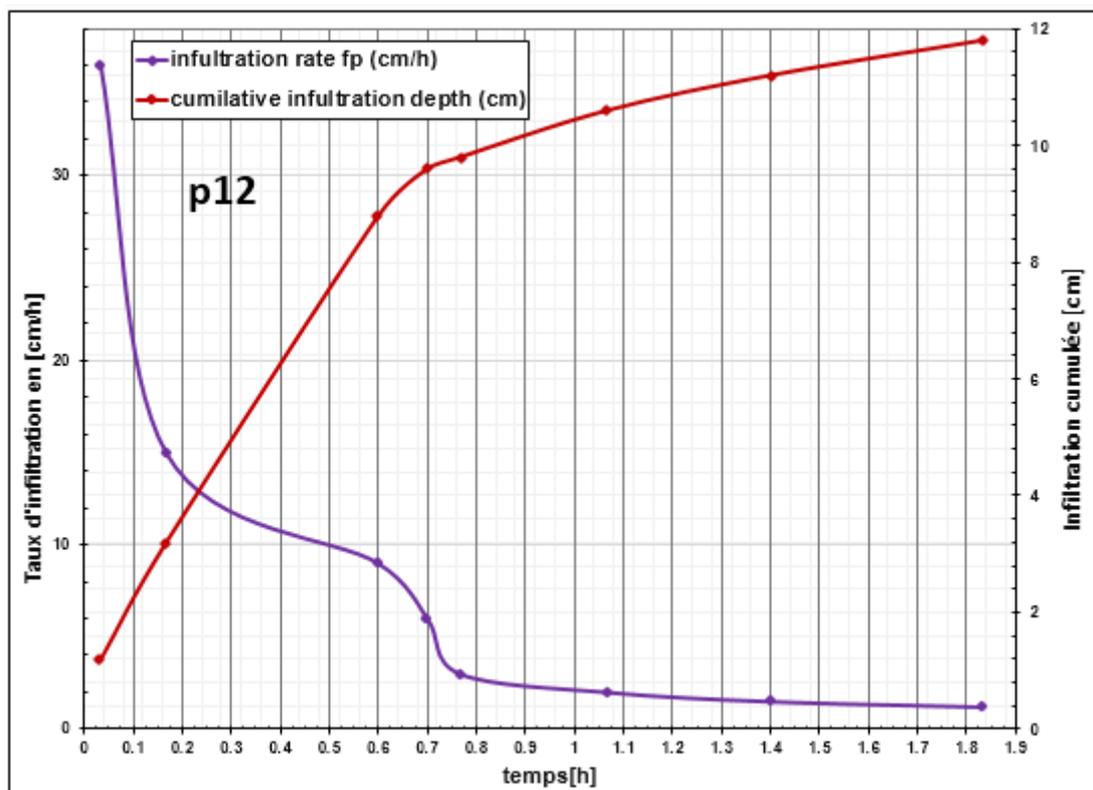
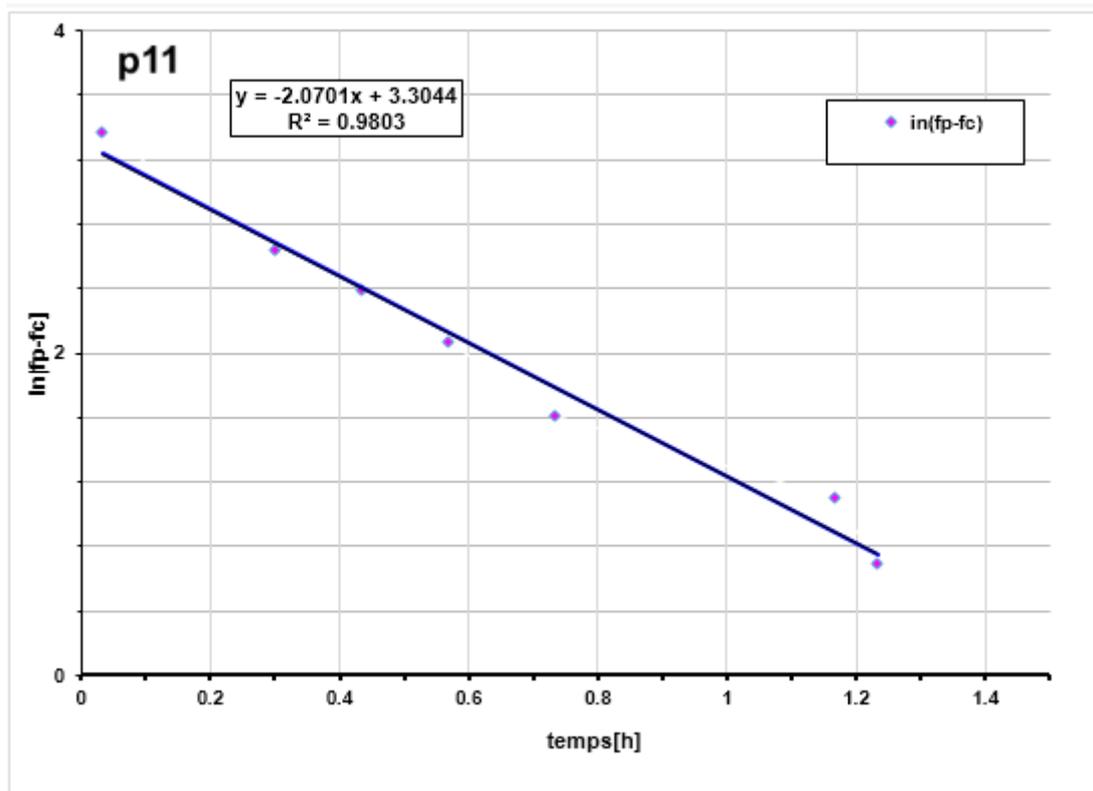


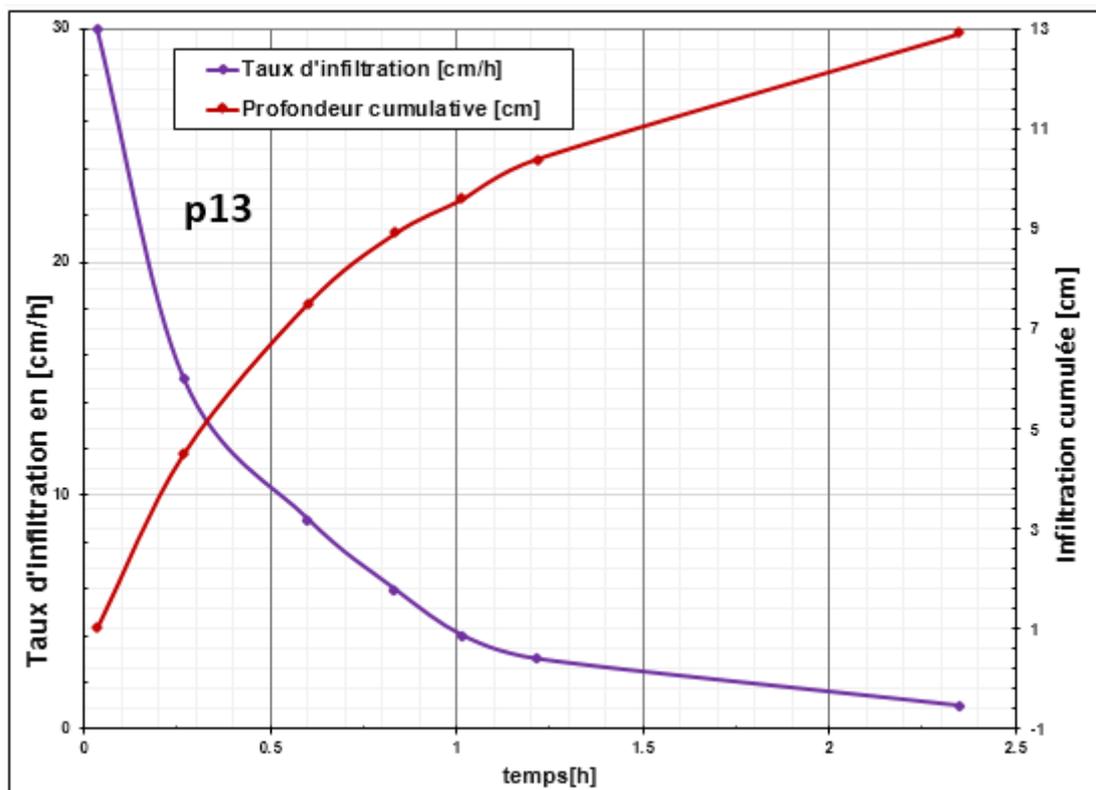
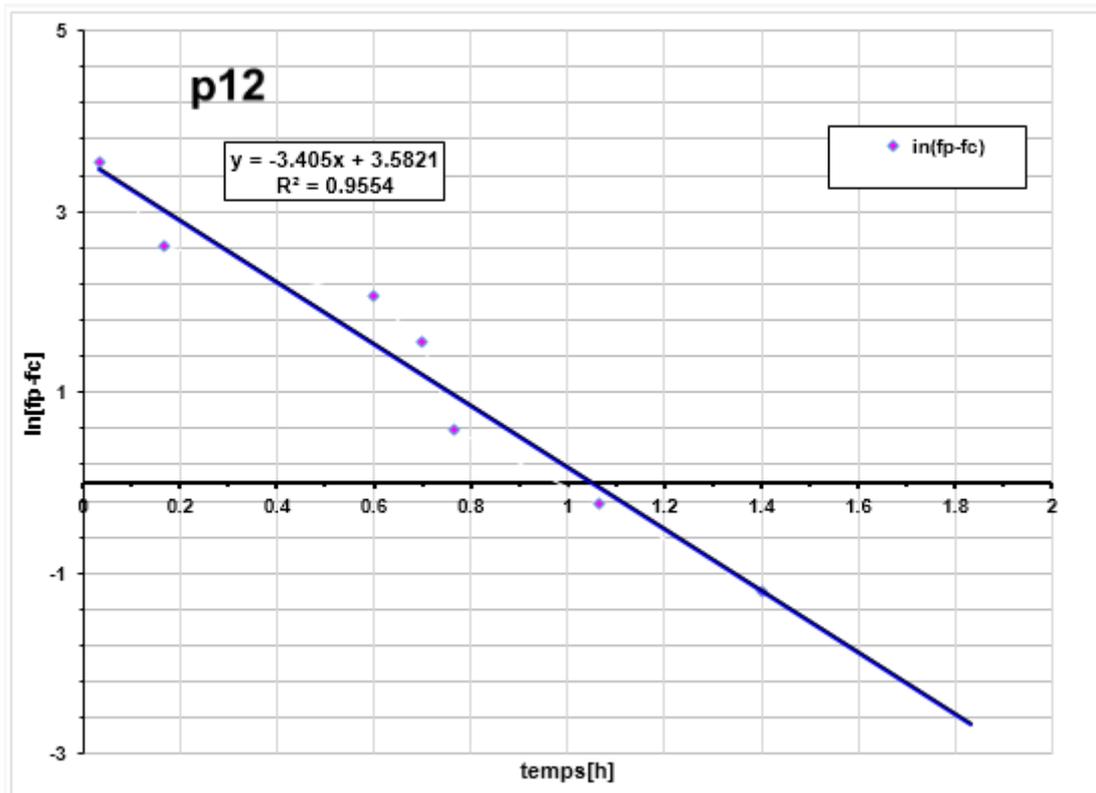


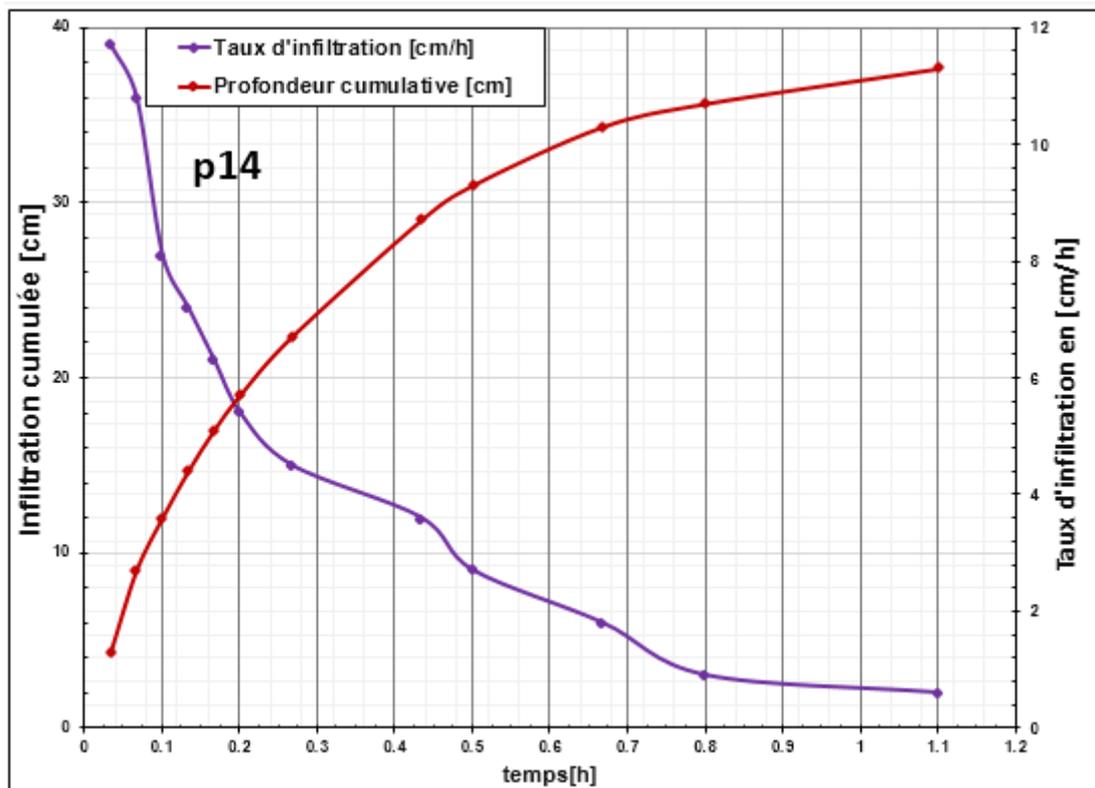
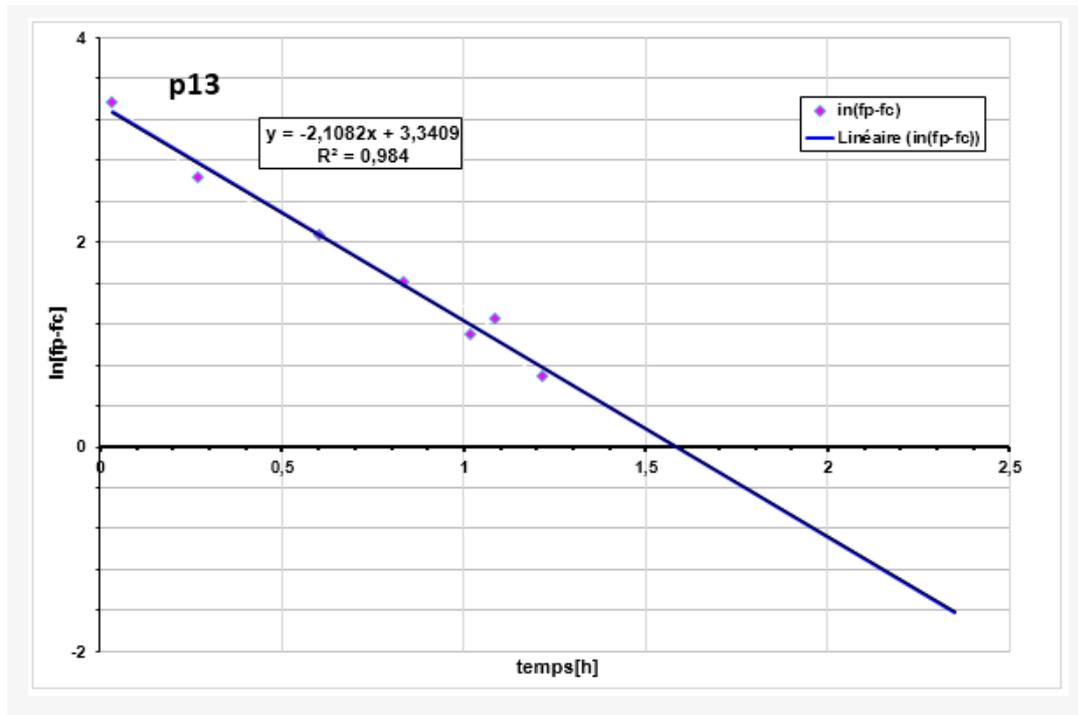


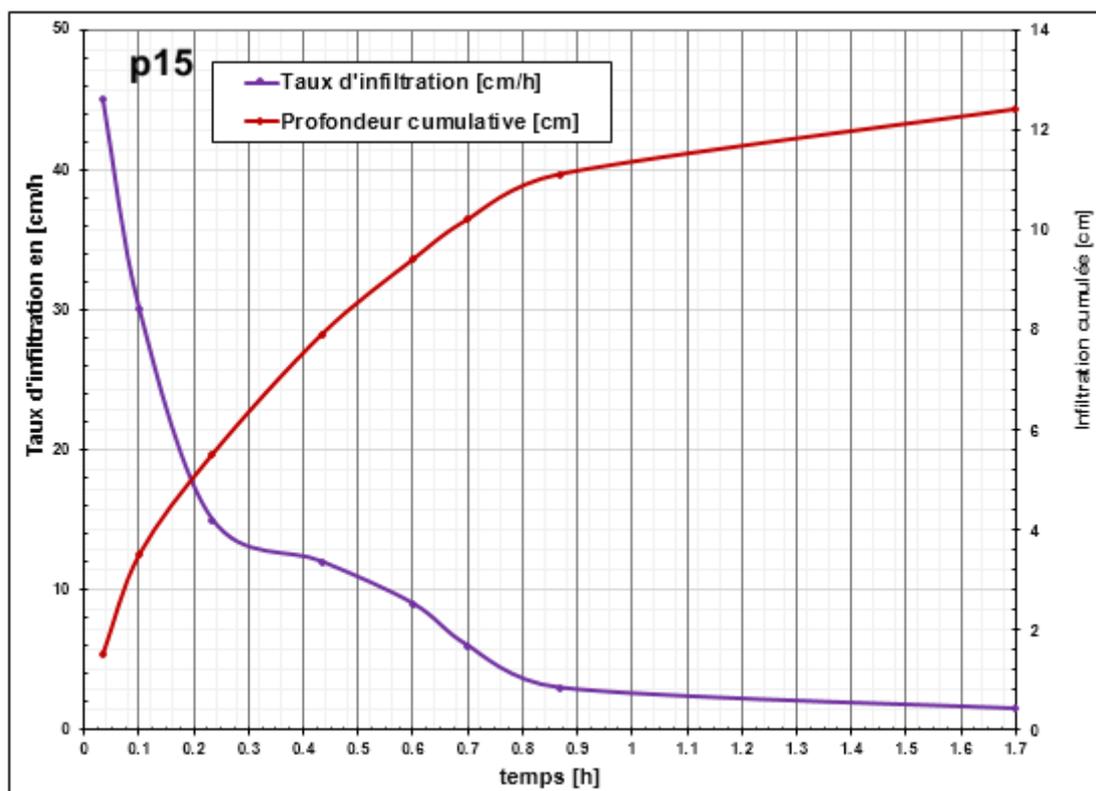
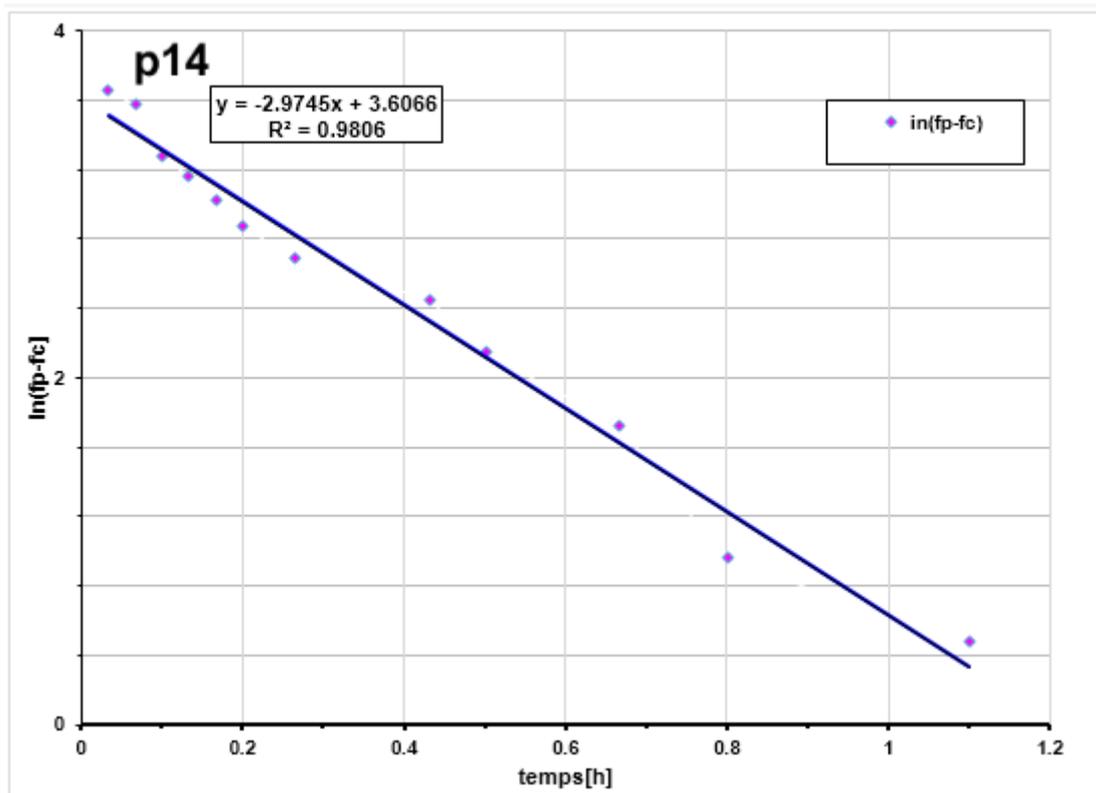


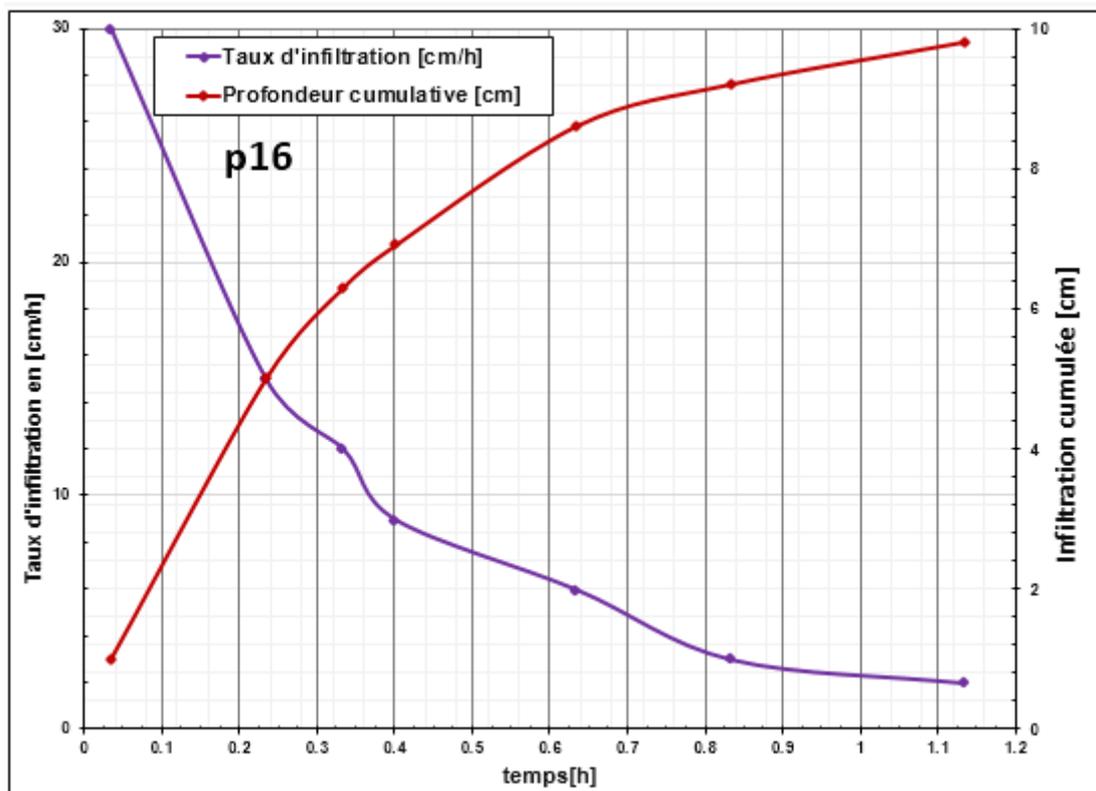
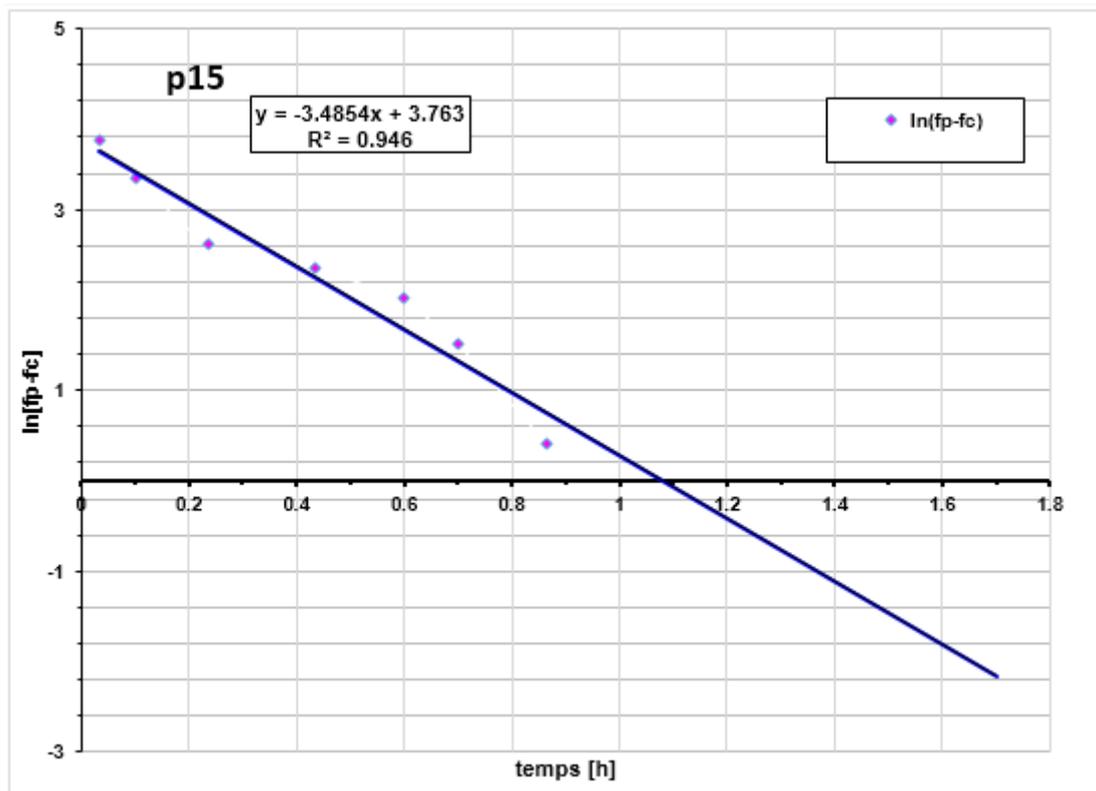


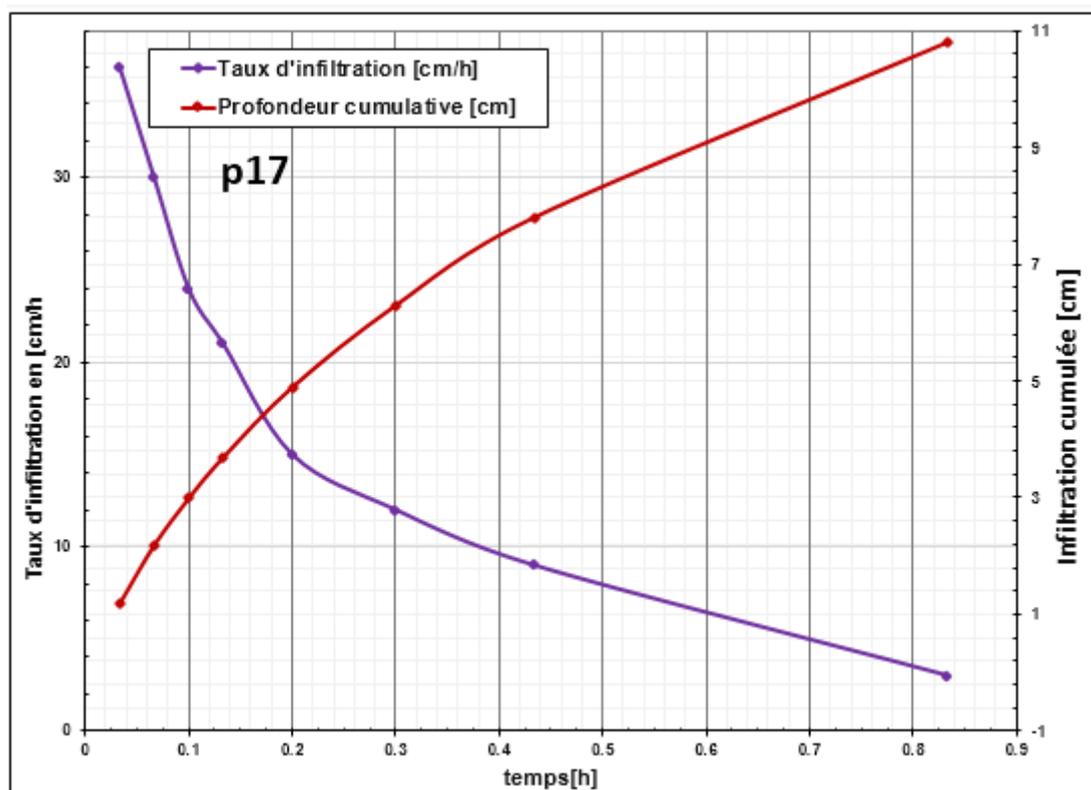
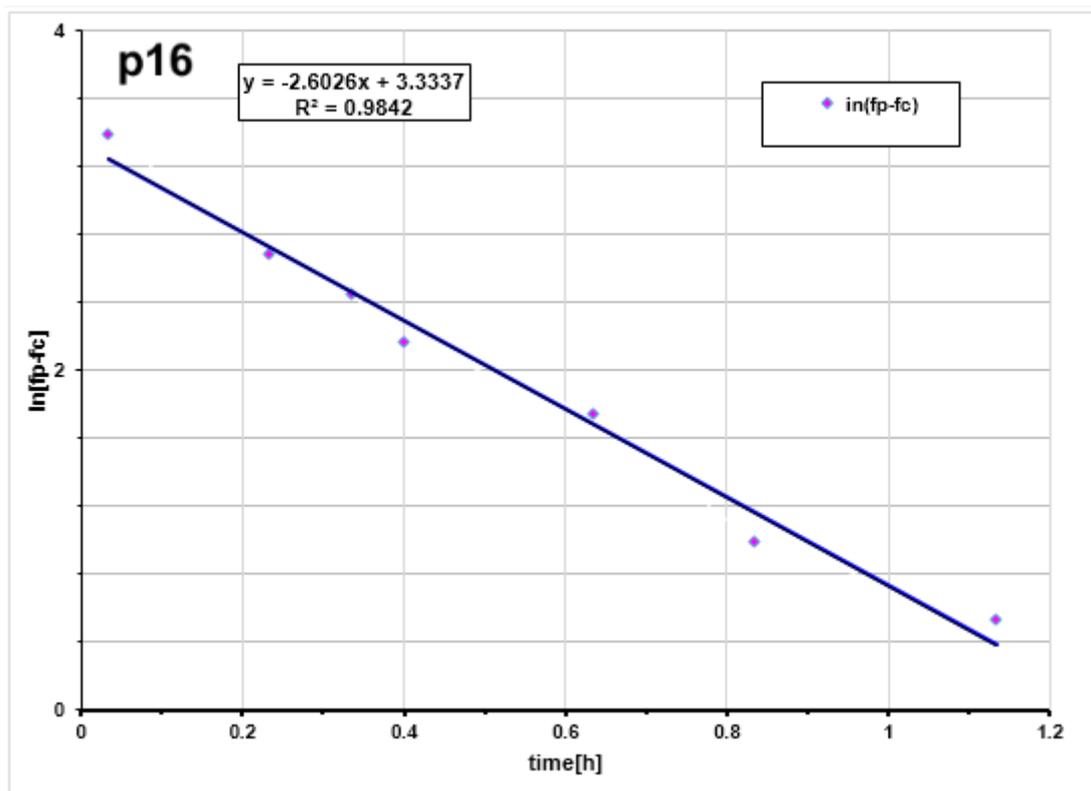


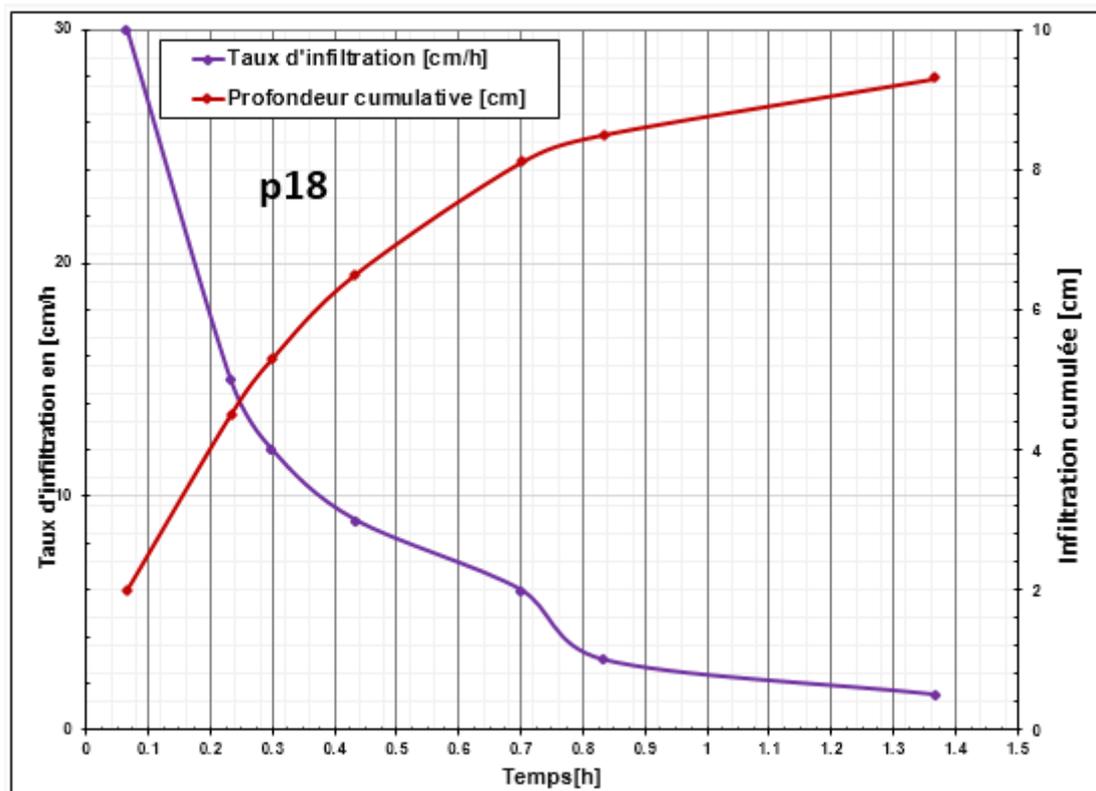
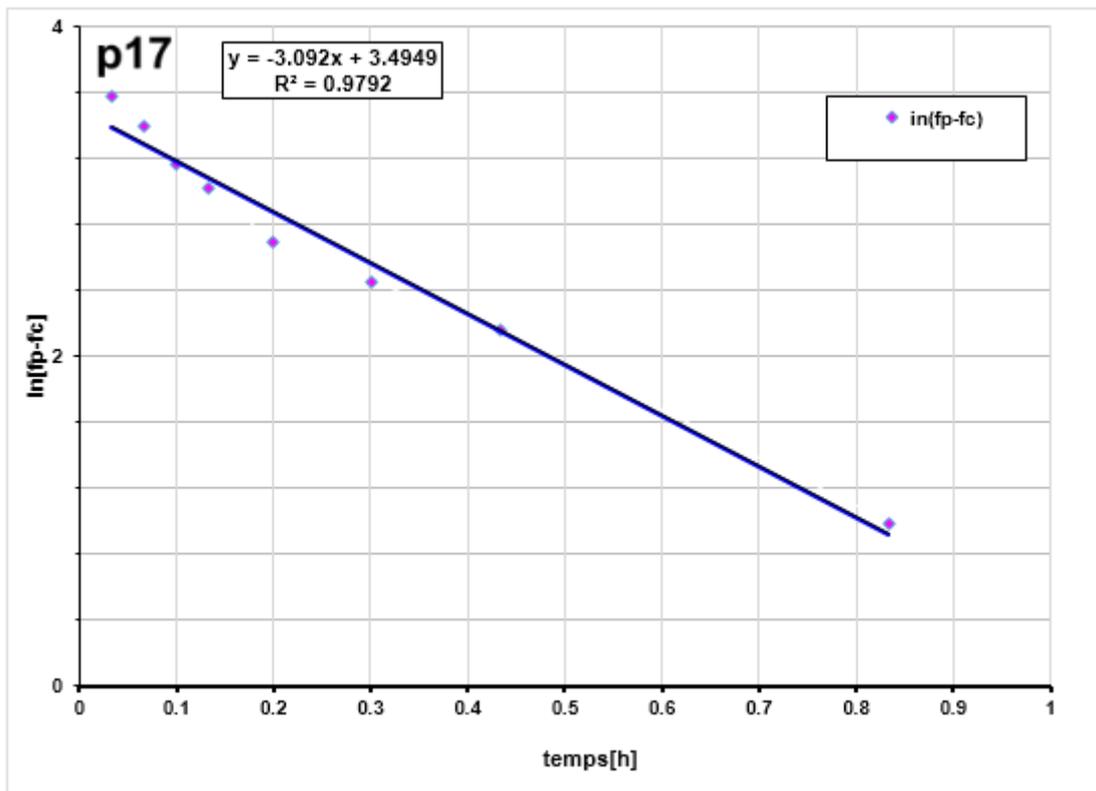


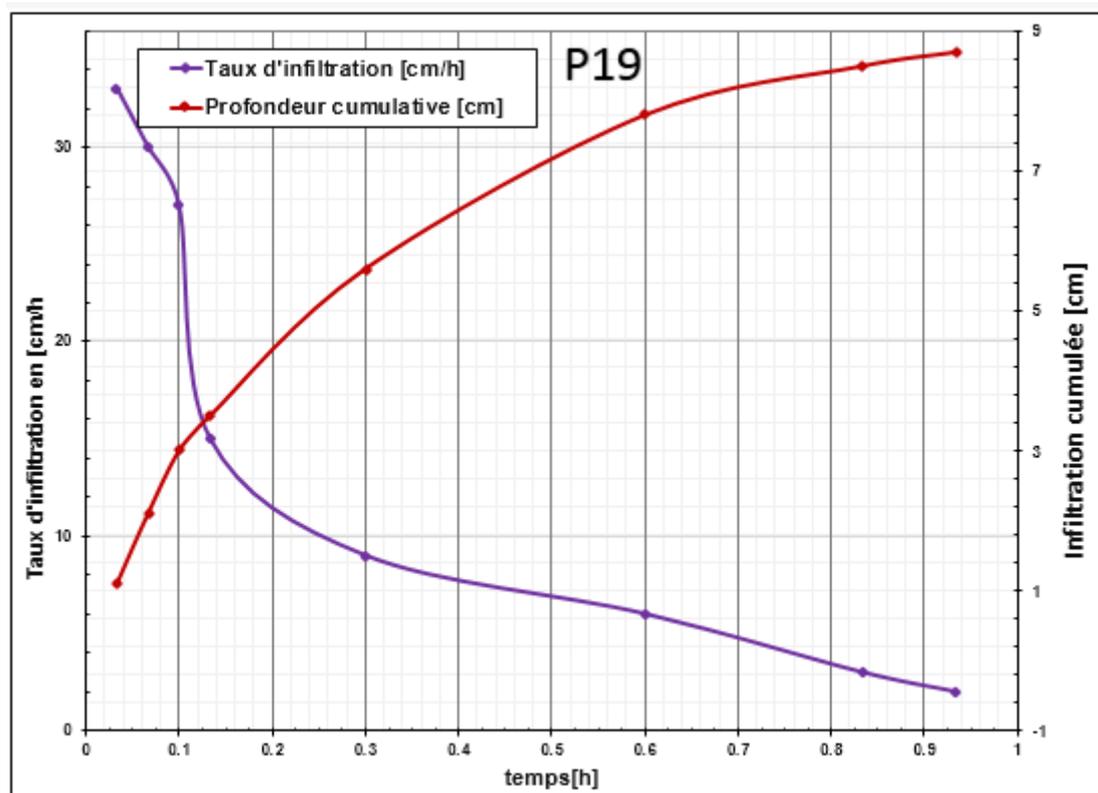
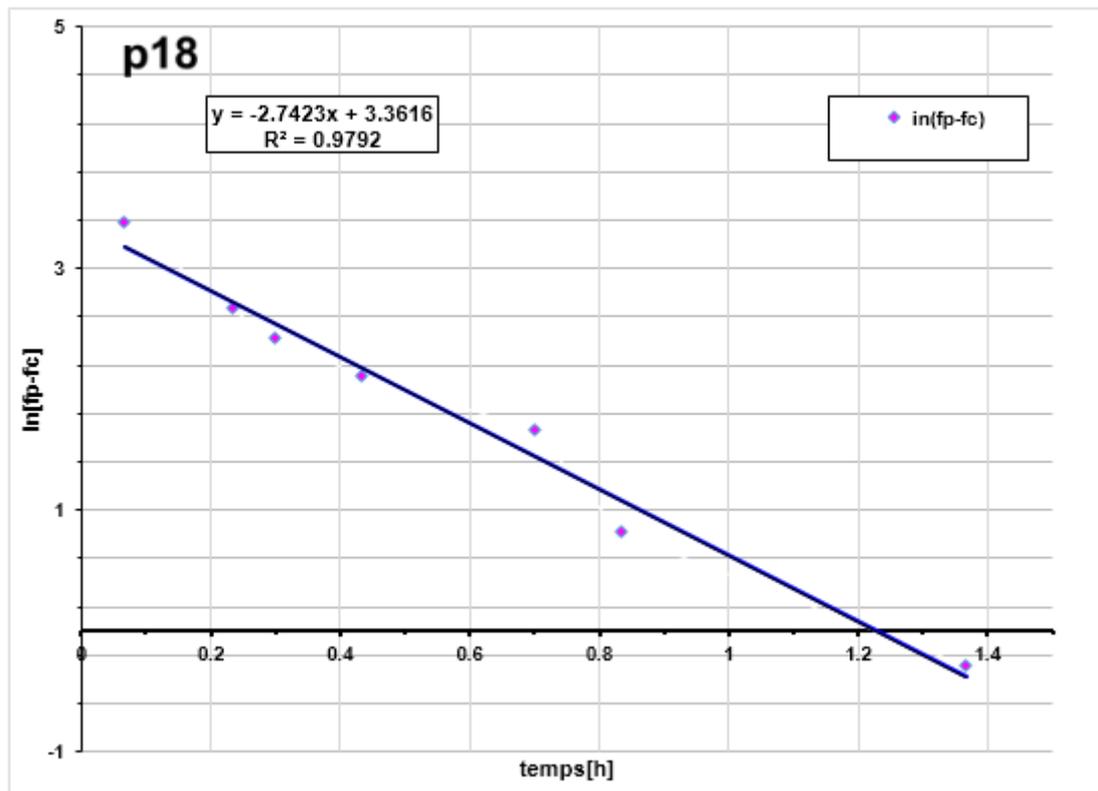


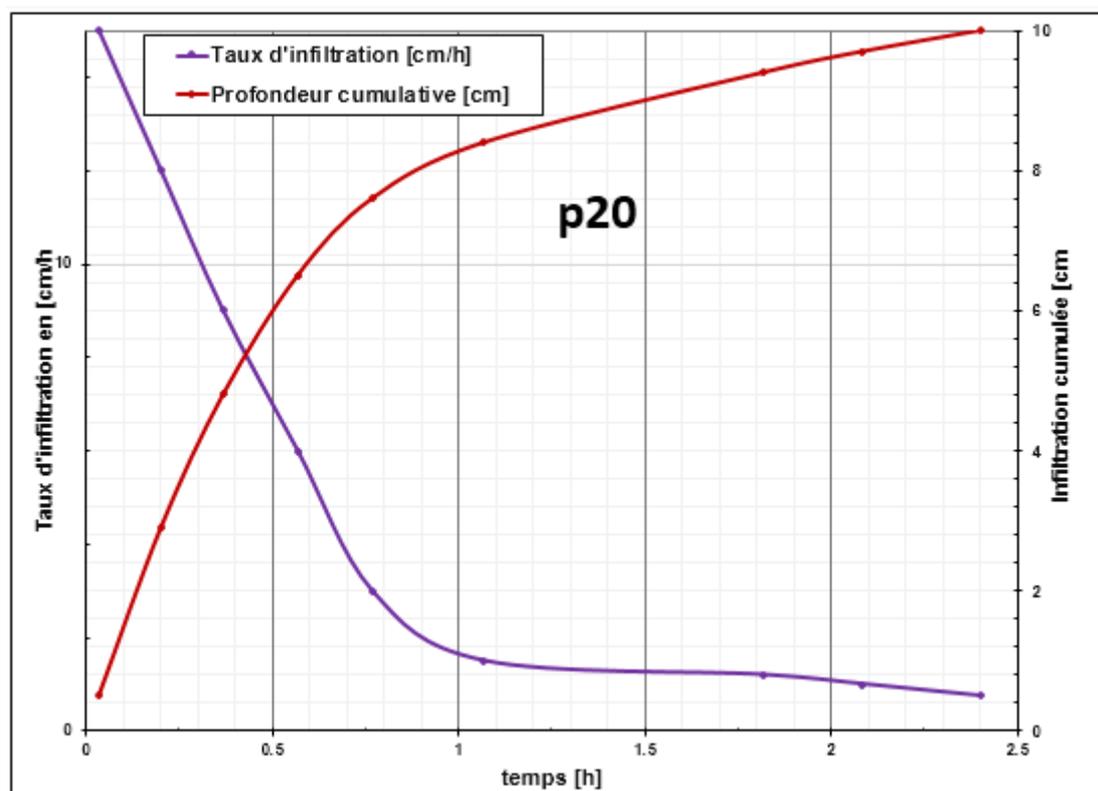
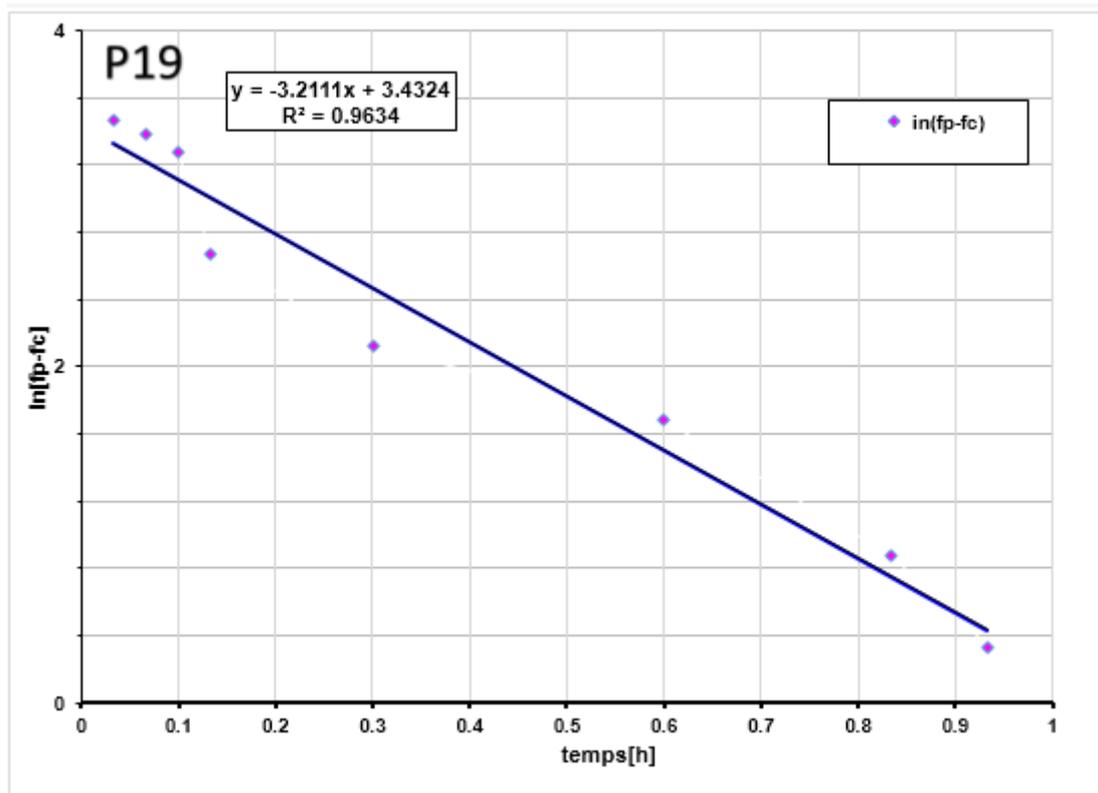


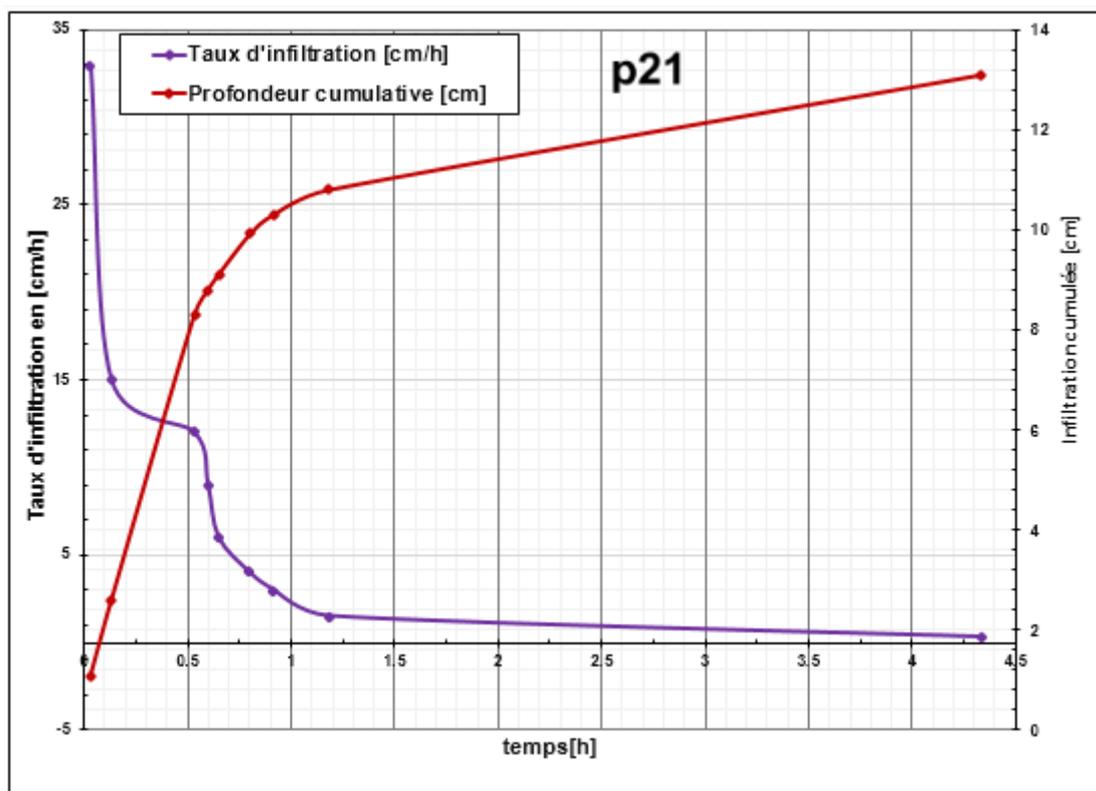
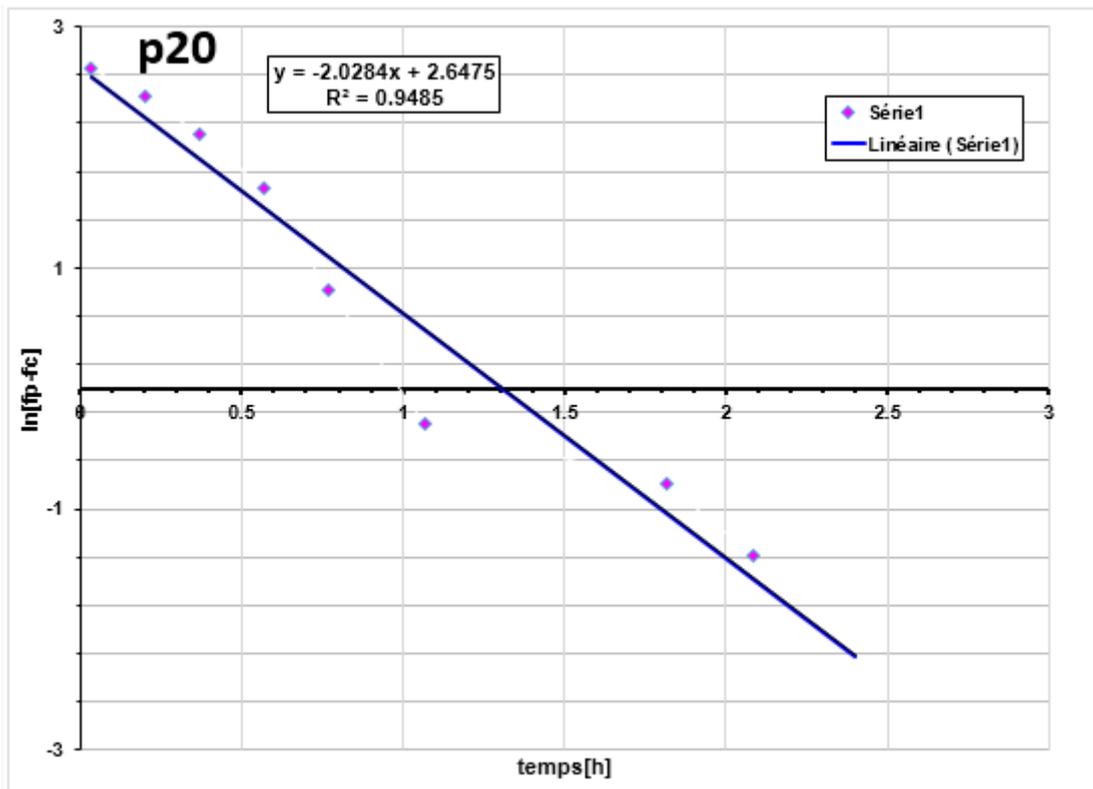


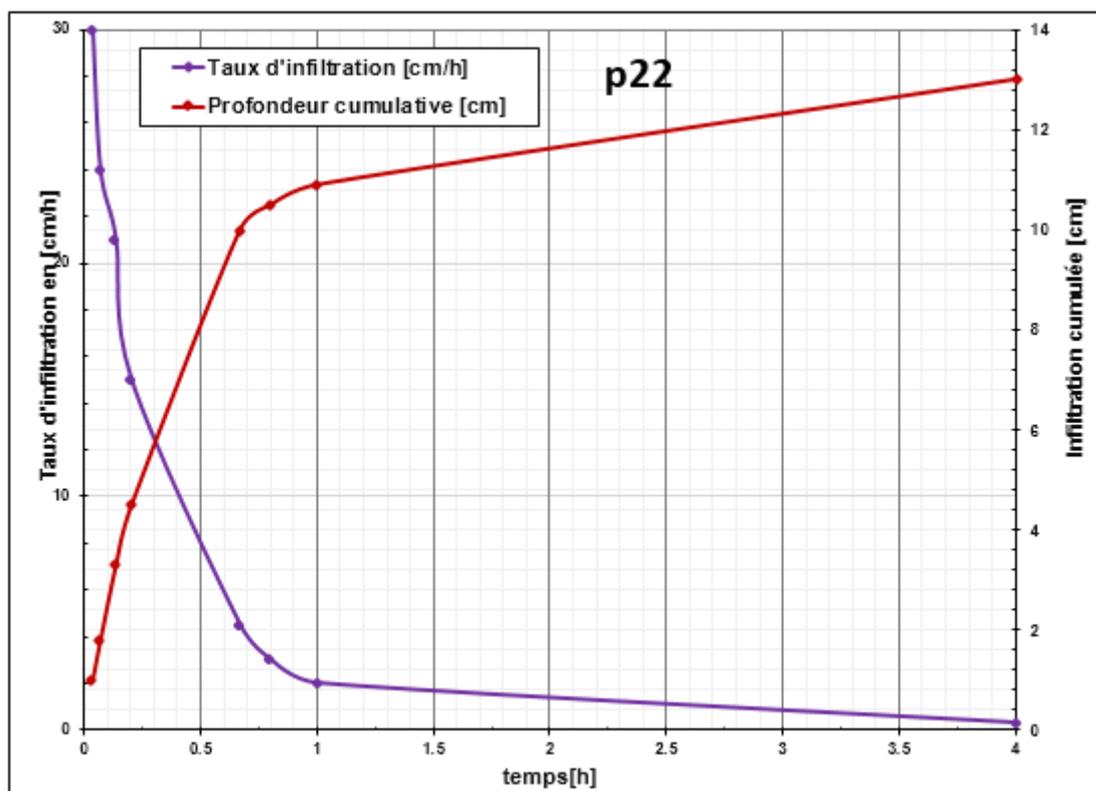
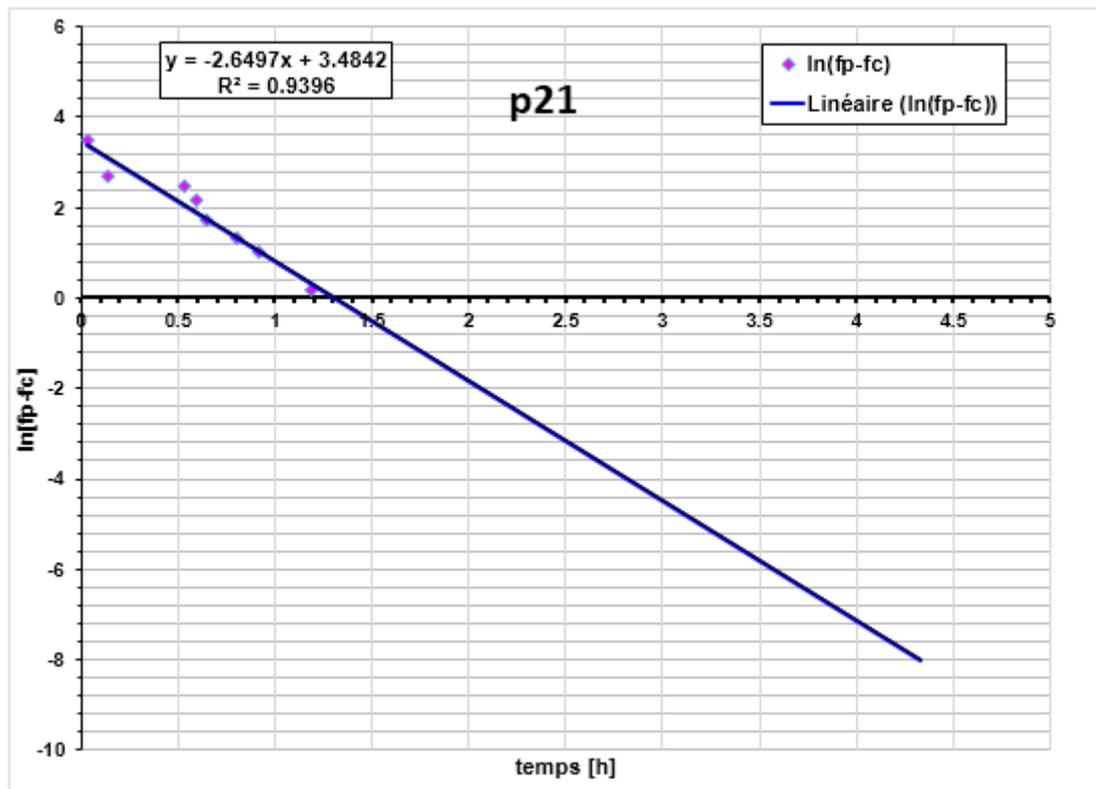


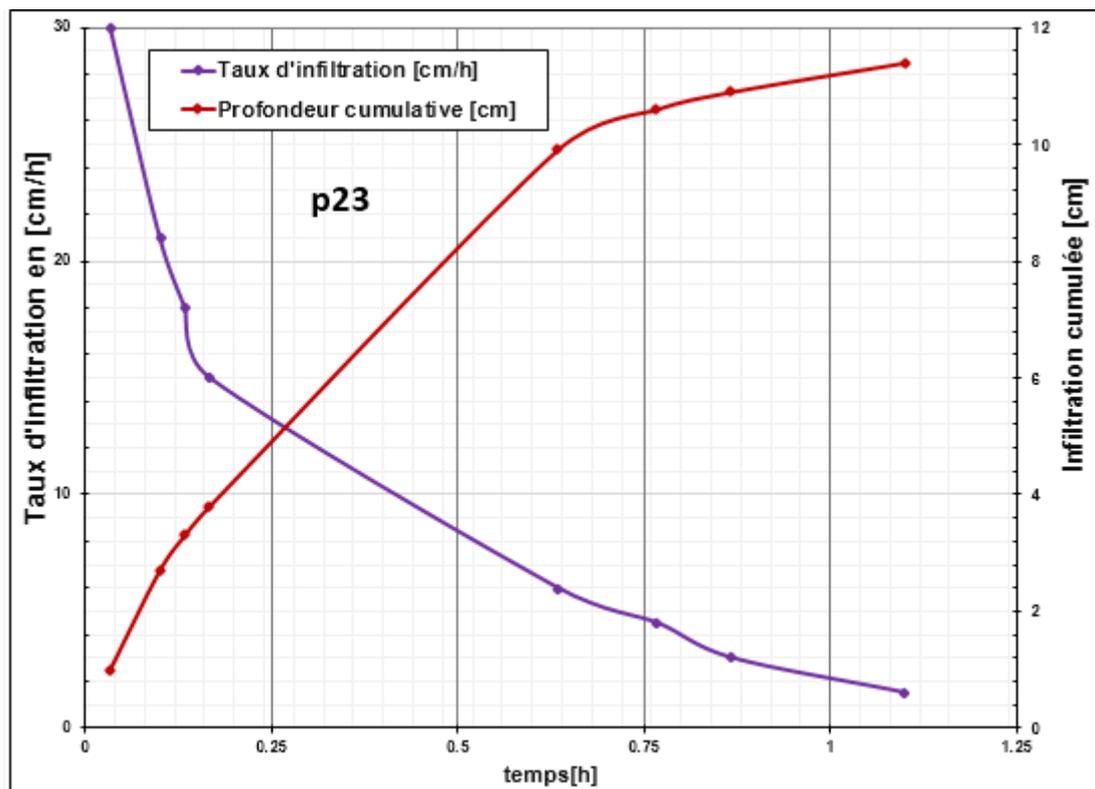
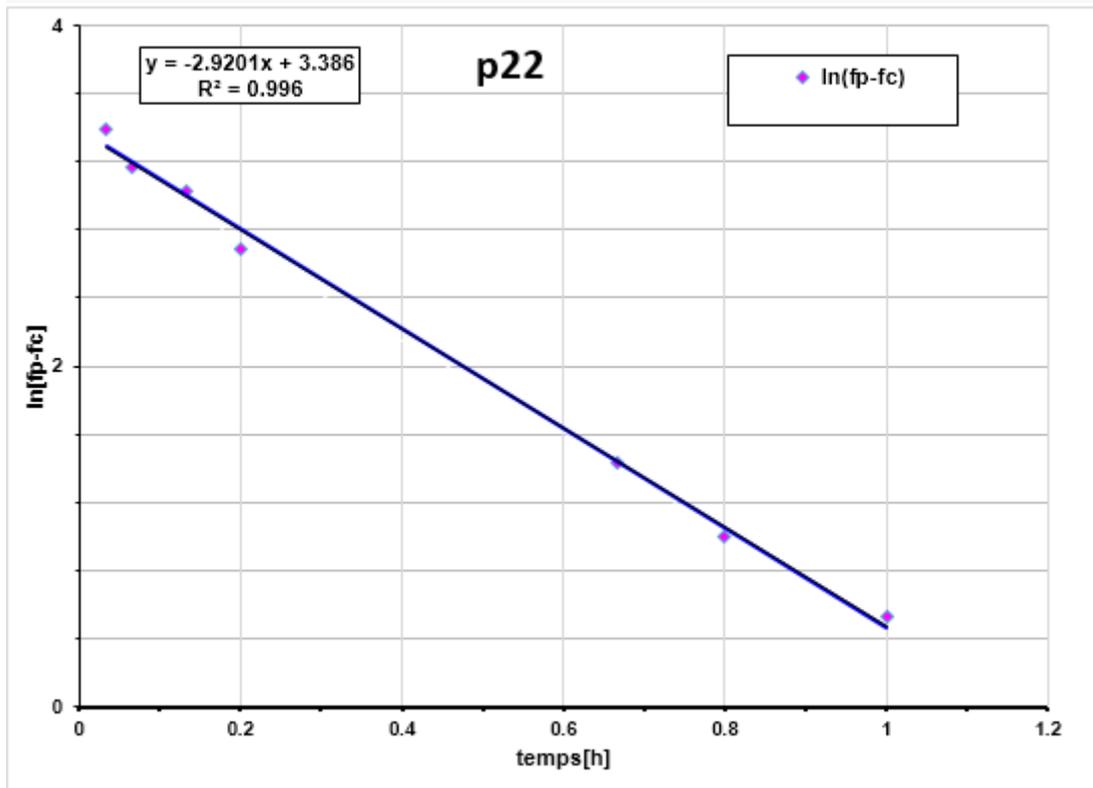


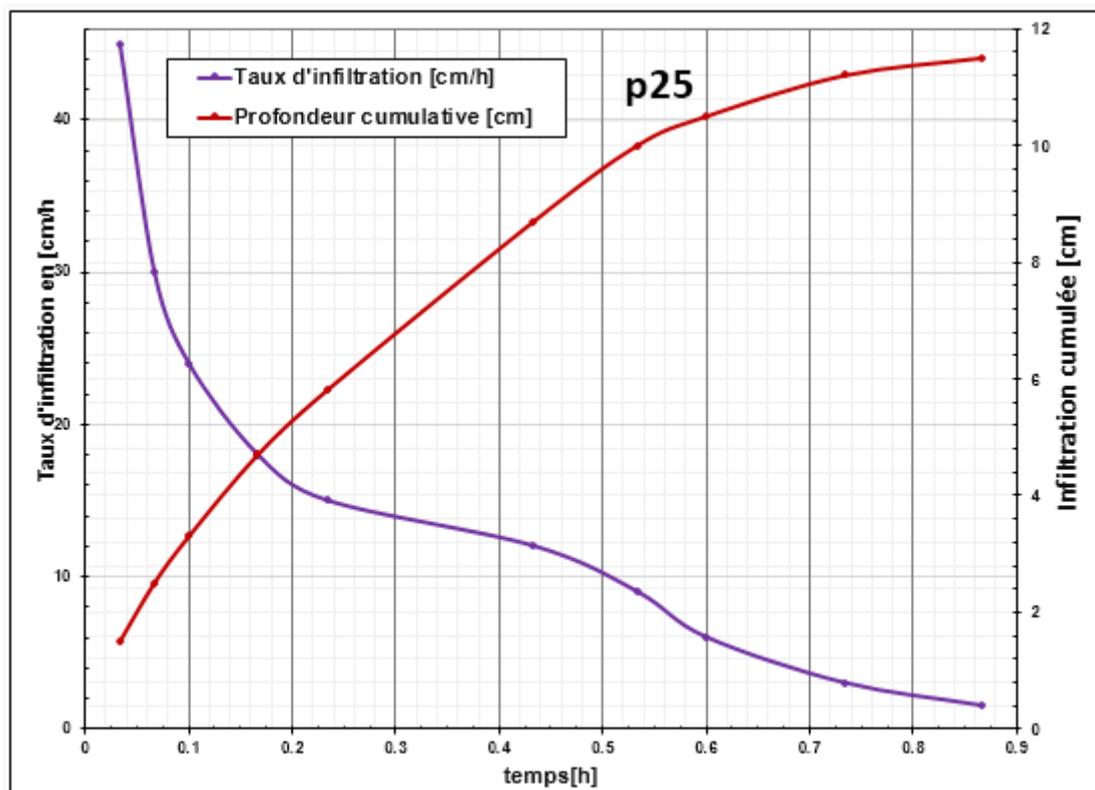
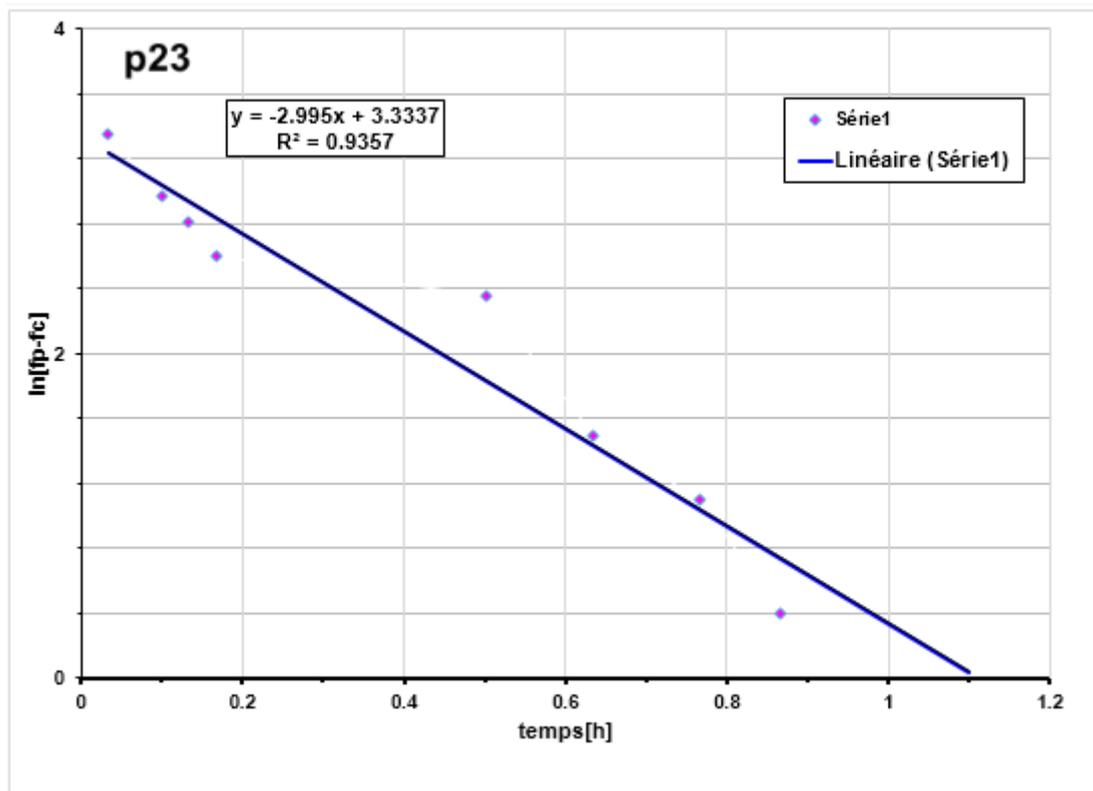


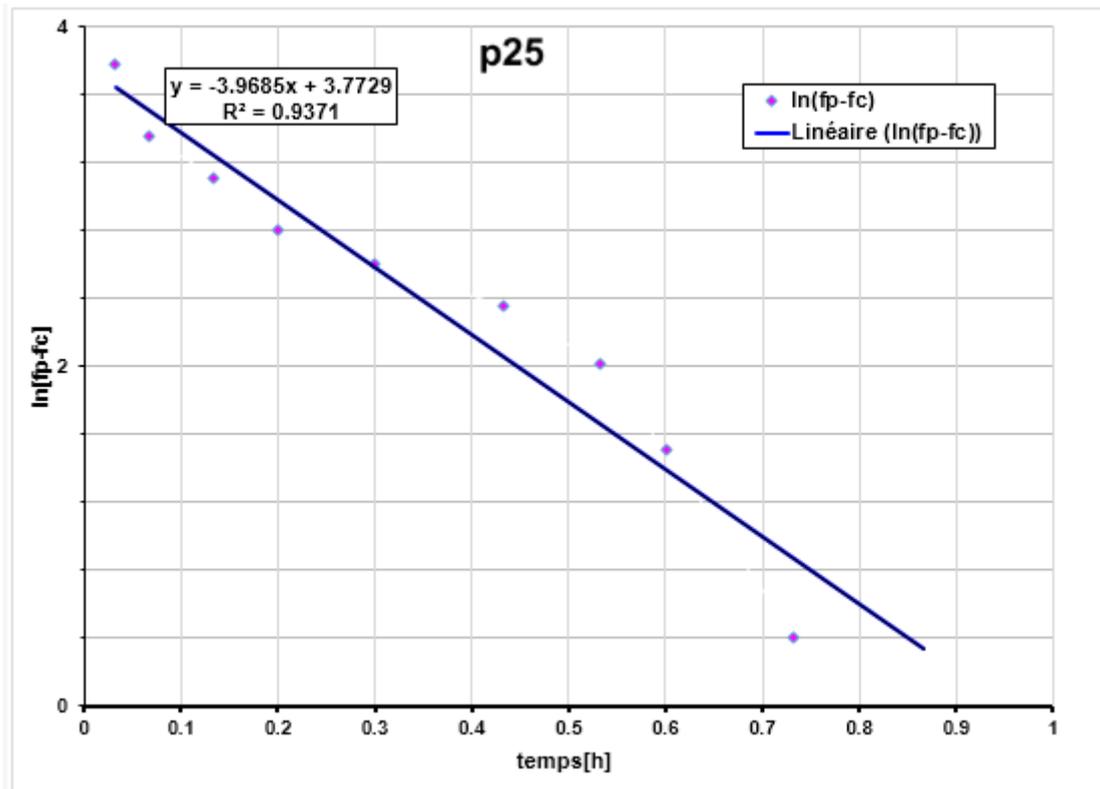












## 9 Chapitre 4: Mesure de la teneur en eau

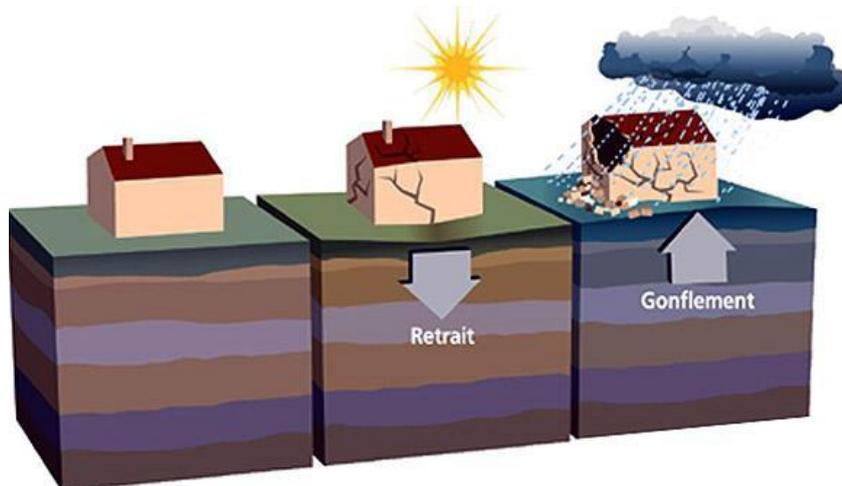
---

### 9.1 Objectif

On désigne par teneur en eau d'un sol, notée  $W$ , le rapport du poids de l'eau ( $P_e$ ) contenue dans un certain volume de ce sol au poids des éléments solides ( $P_s$ ) compris dans le même volume. La teneur en eau est exprimée en pourcentage 16

$$W = \frac{P_e}{P_s} \times 100 \quad \text{Éq 17}$$

Cette information importante permettra de décider du traitement ou du compactage à apporter au sol et peut intervenir dans d'autres essais.



Un sol se déforme en fonction de la variation de la quantité d'eau qu'il contient. Maîtriser la quantité d'eau, revient à maîtriser la portance du sol et donc à protéger les ouvrages qui y sont construits.

### 9.2 Mesure de la teneur en eau

Quelques méthodes :

#### 9.2.1 Détermination à l'aide de l'appareil SPEEDY

L'appareil SPEEDY est livré sous coffret, avec tous les accessoires nécessaires à l'emploi :

- Une balance électronique.
- Un doseur (pour prise d'échantillon).
- Une boîte de réactif SPEEDY (suffisant pour 50 essais).
- Une cuillère de mesure de réactif.
- Des brosses de nettoyage.



**Figure 29** : : appareil speedy

Cet appareil utilise la réaction du carbure de calcium sur l'eau et permet une détermination rapide de la teneur en eau d'un sol. Il est très simple à manipuler et donne le résultat par lecture directe en 2 ou 3 minutes sans avoir besoin d'une source de chaleur. Ce procédé rapide est assez peu précis ; il est surtout utilisé pour les sables.

Cet appareil utilise la réaction du carbure de calcium sur l'eau et permet une détermination rapide de la teneur en eau d'un sol.

Un échantillon de sol est pesé, puis mélangé par secouage au carbure de calcium. La réaction donne lieu à un dégagement gazeux d'acétylène :



La pression de l'acétylène fait mouvoir l'aiguille du manomètre formant fond de récipient. Le cadran est gradué directement en pourcentage d'eau contenu dans l'échantillon, de 0 à 20 %.

## 9.2.2 Détermination au pycnomètre (Méthode des pesées)

### 9.2.2.1 Généralités

La détermination de la teneur en eau d'un échantillon de sol s'obtient par la mesure du volume  $V$  occupé par son poids  $P_h$  de matériau humide. La connaissance du poids spécifique des éléments solides  $\gamma_s$  permet de déduire la teneur en eau.

L'essai est effectué sur un échantillon de 200 g d'éléments d'un sol passant au tamis de 5 mm. Il suppose connu, le poids spécifique des grains solides  $\gamma_s$ , ce qui est rarement le cas, mais les poids spécifiques des grains solides des sols en Algérie, varient autour de 2,65 t/m<sup>3</sup> (ou g/cm<sup>3</sup>). Compte tenu de la précision demandée à l'essai, cette valeur a été admise comme base de calcul.

### 9.2.2.2 Appareillage

Appareillage spécifique : une éprouvette cylindrique (ou pycnomètre), un bouchon en caoutchouc, une machine d'agitation manuelle ou électrique.

Appareillage d'usage courant : un tamis de 5 mm avec fond, un échantillonneur de 5 mm, une spatule et une cuillère, un entonnoir, une balance précise au décigramme de portée au moins égale à 800 grammes.



Pycnomètre



Machine d'agitation électrique



Tamis de 5 mm avec fond



Bouchons en caoutchouc



Echantillonneur diviseur



Spatule



Cuillère



Entonnoir



Balance

### 9.2.2.3 Exécution de l'essai

Passer le sol au tamis de 5 mm pour obtenir quatre (04) échantillons de 200 grammes.

- ❖ . Préparer deux éprouvettes et déterminer préalablement avec précision pour chacune d'elles, par pesée :
  - Le poids de l'éprouvette vide munie du bouchon jauge :  $P_1$  .
  - Le poids de l'éprouvette munie du bouchon jauge en la remplissant d'eau distillée jusqu'à son niveau supérieur :  $P_2$  .
  - Le volume de l'éprouvette exprimé en  $cm^3$  est :  $V_1 = (P_2 - P_1)$ , le poids spécifique de l'eau distillée étant voisin de  $1 g/cm^3$  .
- ❖ Verser à l'aide de l'entonnoir la prise d'essai dans l'éprouvette.
- ❖ Peser l'ensemble (éprouvette + sol) au décigramme près et noter le poids  $P_3$  .
- ❖ Remplir à demi l'éprouvette d'eau distillée, la boucher à l'aide du bouchon en caoutchouc et agiter sur la machine d'agitation pendant trente (30) secondes (90 coups), puis laisser reposer l'éprouvette pendant deux (02) minutes pour faire partir les bulles d'air
- ❖ Adapter le bouchon jauge et terminer le remplissage à l'aide d'une pissette. L'eau doit affleurer l'orifice supérieur du bouchon jauge et veiller à ce qu'il ne reste pas de bulles d'air à la surface de l'eau ;
- ❖ . Porter avec précaution l'éprouvette sur le plateau de la balance, peser l'ensemble (éprouvette + sol + eau) et noter le poids  $P_4$  ;
- ❖ 7. Faire de même le deuxième essai.

### 9.2.2.4 Calcul et présentation des résultats

L'agitation mécanique a en principe chassé l'air occlus de l'échantillon soumis à l'essai. Dans ces conditions le volume  $V$  du sol humide est égal à la somme du volume  $V_s$  des grains solides et  $V_e$  de l'eau contenue dans l'échantillon, soit :

$$V = V_s + V_e \quad \text{Éq 18}$$

Si  $\gamma_s$  est le poids spécifique des grains solides, le poids  $P_h$  de l'échantillon humide est :

$$w = \frac{P_e}{P_s} \times 100 \quad \text{Ce qui donne : } w = \frac{P_e}{V_s \times \gamma_s} \times 100 \quad \text{Éq 19}$$

Des relations (1), (2) et (3), on déduit la relation suivante :

$$w = \frac{(V \times \gamma_s) - P_h}{(P_h - V) \times \gamma_s} \times 100 \quad \text{Éq 20}$$

L'erreur relative résultant de l'appareillage et du mode opératoire (notamment adoption de  $\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$ ) est de 5 %. Cette précision suffit pour l'essai.

### 9.2.3 Méthode par dessiccation à l'étuve

Dans notre cas on utilise cette méthode.

#### 9.2.3.1 Matériel utilisé :



Soucoupe



Etuve de séchage



Culière



Balance

**Figure 30 :** Matériel utilisé au laboratoire pour mesurer le teneur en eau

**L'essai :**

- Placer une quantité de 100g déterminée du matériau humide à tester dans une soucoupe (Figure33).



**Figure 31 :** échantillons de 100 g de sol humide

On mesure tout l'échantillons de sol humide à tester d'une quantité de 100 g (Figure34).



**Figure 32 :** l'échantillons des sols humide d'une quantité de 100 g

- Après on place tout l'échantillons mesuré dans l'Etuve pendant 24 heures sous une température de 105°Celsius (Figure 35)



**Figure 33** : l'échantillons de sol humide dans l'Etuve

- Lorsque le période de 24 heures est terminée c'est à dire après la dessiccation, on pèse l'ensemble des échantillons du sol humide une seconde fois.
- Après en déduire les masses humides et sèche de l'échantillon et calculer la W.

Le tableau suivant présente les résultats qui on a obtenir à laboratoire

**Tableau 21** : calcul de la teneur en eau en pourcentage (%)

Les point	date	le poids humide (Ph) [g]	le poids sec (Ps)[g]	poids de l'eau ( E ) [g]	La teneur en eau (W) [ % ]
p1	14/04/19	100	82,5	17,5	21,21
p2	15/04/19	100	71,4	28,6	40,06
p3	19/04/19	100	79	21	26,58
p4	17/04/19	100	77,5	22,5	29,03
p5	20/04/19	100	79,5	20,5	25,79
p6	20/04/19	100	87,1	12,9	14,81
p7	22/04/19	100	92,1	7,9	8,58
p8	22/04/19	100	89,2	10,8	12,11
p9	23/04/19	100	87,9	12,1	13,77
p10	23/04/19	100	85,6	14,4	16,82
p11	25/04/19	100	87,1	12,9	14,81
p12	25/04/19	100	89,2	10,8	12,11
p13	28/04/19	100	82,8	17,2	20,77
p14	28/04/19	100	81,3	18,7	23,00
p15	06/05/19	100	87,8	12,2	13,90
p16	06/05/19	100	82,5	17,5	21,21
p17	07/05/19	100	85,7	14,3	16,69
p18	07/05/19	100	91	9	9,89
p19	09/05/19	100	83,8	16,2	19,33
p20	09/05/19	100	83,5	16,5	19,76
p21	11/05/19	100	80,2	19,8	24,69

<b>p22</b>	11/05/19	100	87,6	12,4	14,16
<b>p23</b>	12/05/19	100	77,8	22,2	28,53
<b>p24</b>	12/05/19	100	85,7	14,3	16,69
<b>p25</b>	13/05/19	100	88,2	11,8	13,38

La carte de la teneur en eau montre une classification de 9 intervalles en pourcentage (voir la figure 34)

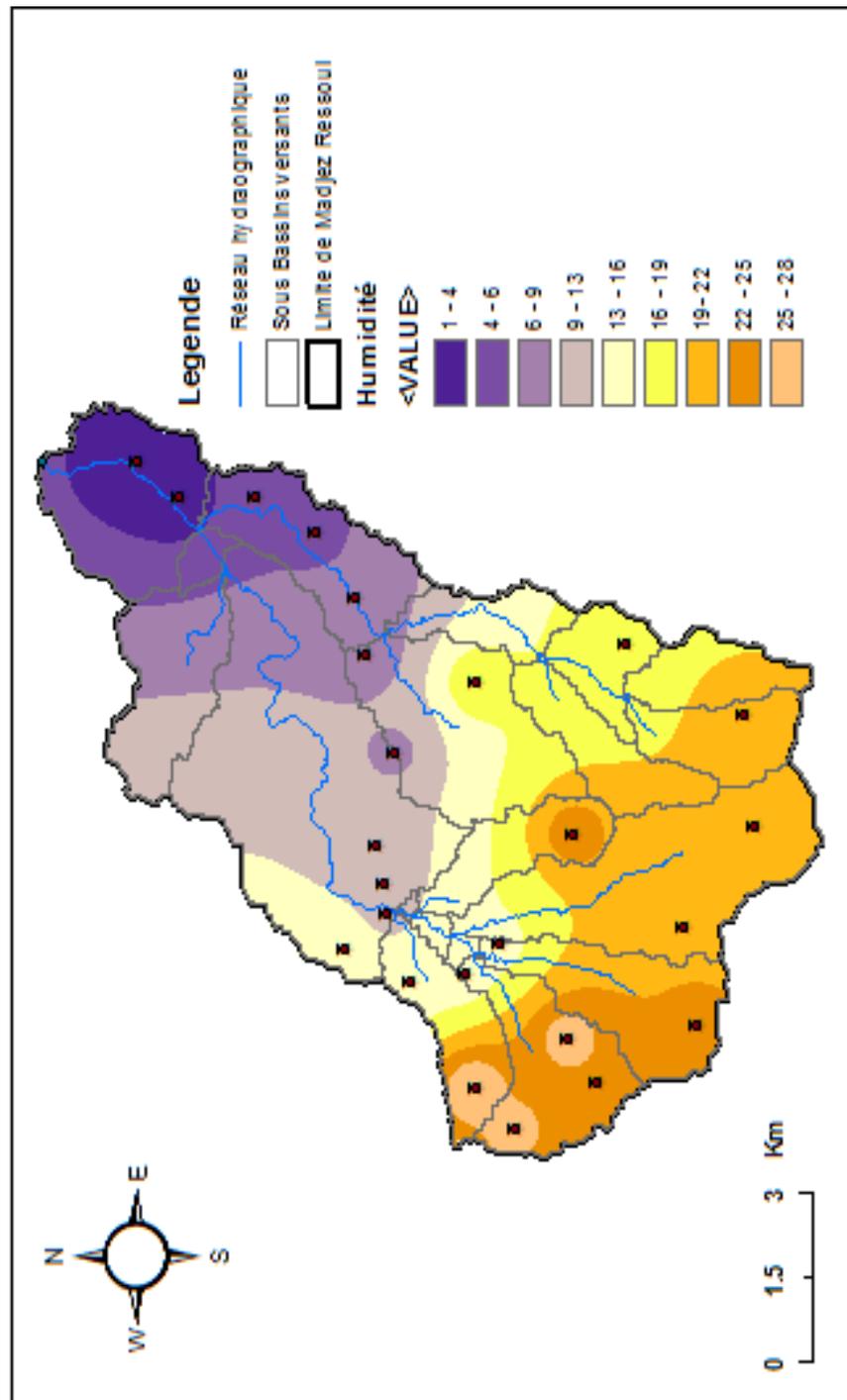


Figure 34 : Teneur en eau du sol au bassin versant de Madjaz Ressoul en%.

## **10 Conclusion générale**

---

Le présent travail est dédié à l'étude expérimentale du potentiel d'infiltration dans le bassin versant de Medjaz Ressoul, Ce travail de master s'inscrit dans le travail de thèse de doctorat de Mme DAHAK-BOUAZZIZI Asma, sur la modélisation hydrologique des bassins versants algériens.

Durant plusieurs mois, des séries d'expérimentations in-situ ont été faite. Aussi en même temps des mesures de la teneur en eau du sol ont été effectuées. En tous 28 expériences, avec un infiltromètre a doubles anneaux, ont été menées avec des mesures de la teneur en eau du sol au point de mesure.

Les paramètres de l'équation de Horton :  $f_0$ ,  $f_c$  et  $k$  ont été calculé pour chaque point. Une cartographie des résultats a été faite sous ArcGIS.

## **11 REFERENCE**

---

- Bréard Lanoix, M.-L. (2017). Caractérisation des propriétés hydrogéologiques de la couche de contrôle des écoulements placée sur la halde à stériles expérimentale à la mine du lac Tio, École Polytechnique de Montréal.
- Brouwers, M. (1990). "Les méthodes de mesure de l'infiltration. Avantages et inconvénients des tests classiques de laboratoire et de terrain, précautions à prendre." Réseau Erosion Bulletin(10): 12-13.
- Djabri, L., A.Hani, et al. (2003). "Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-eastern Algeria." 7.
- Jaccon, G. (1986). Manuel d'hydrométrie : tome 5 : tracé de la courbe de tarage et calcul des débits. Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération.
- Jaccon, G. (1986). Tracé de la courbe de tarage et calcul des débits. Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération.
- Oudin, L. (2004). recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit globale, école nationale du génie rural , des eaux et des forêts: 495 pages.

- Soutter, M., A. Mermoud, et al. (2007). Ingénierie des eaux et du sol: Processus et aménagements, PPUR presses polytechniques.
- Talatizi, A. (2014). Etude des infiltrations à travers une digue de barrage en terre Cas d'un barrage algérien, Université Mouloud Mammeri.
- Trépanier, S. (2009). Optimisation des levés de sédiments de ruisseaux pour l'exploration: 33.