

TP H3 : pertes de charges

Vendredi 27 mars 2020

Thomas BOUTRON
Damien BOUVIER
Christophe MONNIER
Benoit SAUNIER

Sommaire

Nomenclature

TABLE 1 – Table des nomenclatures

Nom	symbole	unité	Valeur
Diamètre	D	m	/
Longueur de tube	L		
Altitude	z		
Hauteur piézométrique	H_p		
Hauteur manométrique	H_m		
Rayon de courbure de coude	r		
Charge	C		
Perte de charge	J		
Angle d'un coude	β	°	
Vitesse du fluide	U	$m \cdot s^{-1}$	
Débit du fluide	Q_v	$m^3 \cdot s^{-1}$	
Surface de passage de la canalisation	S_i	m^2	
Pression du fluide	P_i	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$	
Nombre de Reynolds	Re	1	
Coefficient pertes de charge régulières	λ		
Coefficient pertes de charge singulières	K		
Masse volumique	ρ	$kg \cdot m^{-3}$	
Accélération de la pesanteur	g	$m \cdot s^{-2}$	9,81
Viscosité cinématique de l'eau	ν	$m^2 \cdot s^{-1}$	10^{-6}

I Introduction

L'objectif de la manipulation présentée ici est de comparer les prédictions théoriques des pertes de charges dans un circuit d'eau à des mesures expérimentales. Dès qu'un fluide est transporté à travers des conduites, sa charge (en quelque sorte son énergie) diminue au fur et à mesure de son cheminement. Cette diminution est due aux dissipations d'énergie liées aux forces de viscosité sur l'interface paroi-fluide. En hydraulique, deux types de pertes de charges peuvent être distinguées : Les pertes de charge régulières et les pertes de charge singulières.

Les pertes de charge régulières représentent la diminution de la charge lors de la progression du fluide dans une conduite droite (sans "singularité"). La mécanique des fluides nous dit que la perte de pression du fluide varie linéairement avec la longueur parcourue.

Les pertes de charge singulières sont dues à des singularités géométriques. En effet, lorsque le fluide passe par un coude ou un élargissement, les pertes de pressions sont assez importantes et le régime d'écoulement du fluide est perturbé par des décollements et des turbulences.

La connaissance et la prédiction des pertes de charge dans une conduite sont essentielles pour pouvoir prévoir quelles pompes ou turbines utiliser, ou encore savoir si l'on risque d'avoir de la cavitation (phénomène de formation de poches de gaz, très néfaste pour le fonctionnement d'un système hydraulique) dans la canalisation ou la turbomachine.

II Banc d'essai et protocole

Le banc d'essai représenté sur la figure ?? est constitué de deux circuits qui seront étudiés séparément.

Sur la figure ?? nous voyons qu'un grand réservoir d'eau, dans lequel est installée une pompe qui est le fournisseur de débit de notre installation. On remarquera que celle-ci fonctionne en circuit fermé (l'eau revient dans le réservoir) afin d'économiser l'eau. L'eau pompée du réservoir passe d'abord par le circuit I, droit et régulier. Au bout de celui-ci se trouve une vanne 3 voies notée H, qui oriente l'eau soit pour aller dans le circuit II soit dans le circuit III.

Le circuit II, outre le fait de comporter des coudes, comporte aussi différentes vannes et un dispositif de mesure de débit Venturi.

Le circuit III comporte un élargissement puis un rétrécissement de section.

Sur tout le long des circuits I, II et III de nombreux points de mesure de pression sont présents. Ils permettront notamment de suivre l'évolution de la charge.

Protocole expérimental

Les objectifs principaux du TP sont :

- Étudier les différents types de pertes de charges, les différentes singularités et leurs impacts ;
- Comparer le débit mesuré grâce à un venturi et un compteur volumétrique ;
- Déduire expérimentalement le coefficient de perte de charge K d'une vanne 3 voies ;
- Comparer les résultats expérimentaux et théoriques.

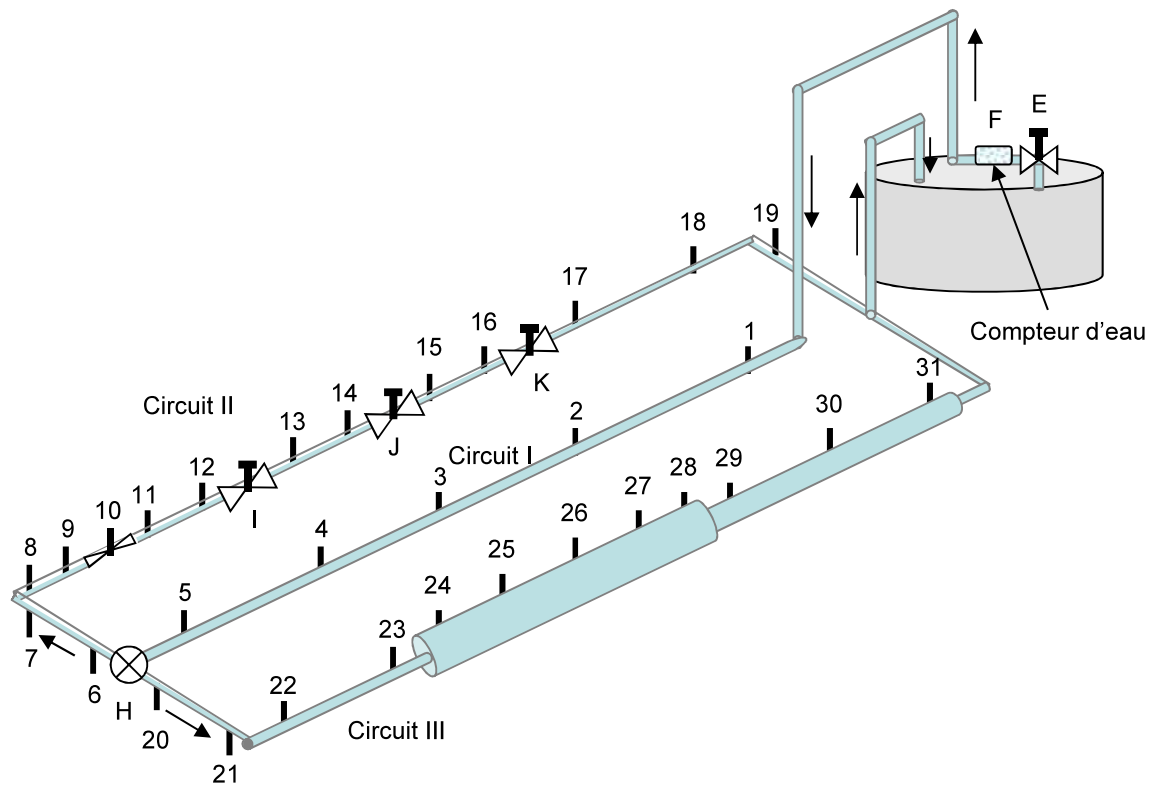


FIGURE 1 – Schéma de l'installation étudié

L'équation de Bernoulli généralisée (équation (??)) permet de déterminer la charge C en un point donné du réseau hydraulique. Afin d'étudier le comportement du fluide sur chaque partie du réseau, un bilan entre deux point sera fait (équation (??)) :

$$C = \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} + z \quad (1)$$

$$C_j = C_i + \sum J_{ij} + H_m \quad (2)$$

III Résultats et exploitation :

III.1 Pertes de charges régulières :

Pour déterminer la perte de charge régulière J liée à une longueur L d'une canalisation de diamètre D il faut utiliser l'équation (??) :

$$J = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} \quad (3)$$

Où le coefficient λ dépend généralement du régime d'écoulement et de la rugosité de la paroi (Les parois des conduites sont ici considérées comme lisses). Ici, compte tenu du fait que le nombre de Reynolds Re (calculé à l'aide de la formule (??)) est compris entre 2000 et 50 000, la formule (??) est utilisée pour calculer λ . La vitesse U , utilisée pour calculer le Reynolds et les pertes de charges est calculée grâce au débit trouvé grâce au compteur volumétrique dans le tableau ??.

$$Re = \frac{D U}{\nu} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (5)$$

Toutes les pertes de charges et leurs composante sont calculées dans les tableau ?? et ?? (voir annexe ?? et ??).

III.2 Pertes de charges singulières :

Les pertes de charge singulières peuvent être déterminées grâce à la connaissance du coefficient K , qui est d'autant plus grand que la singularité géométrique est "brutale" et donc entraîne des turbulences et décollements important dans le fluide. L'équation (??) est utilisée pour les calculer.

$$J = K \frac{U^2}{2g} \quad (6)$$

Toutes les pertes de charges et leurs composante sont calculées dans les tableau ?? et ?? (voir annexe ?? et ??).

La détermination de K est parfois compliquée, soit il faut se reporter à la littérature (quand c'est possible), soit il faut estimer la valeur via des mesures, c'est ce qui sera fait dans la prochaine sous section pour la vanne trois voies du circuit.

III.3 Détermination K expérimental

Il est plus difficile de déterminer le coefficient K_H de la vanne H car il ne faut pas se reporter aux pertes de charges associés à la hauteur piézométrique annoncée par les manomètres. Cette perte de charge est négative (ce qui est physiquement impossible, une telle perte de charge correspondrait à un apport d'énergie au fluide juste du fait son mouvement), et cela est dû au fait que la prise de pression est trop proche de la vanne. L'écoulement n'est pas établi et les mesures sont donc faussées par les turbulences. il faut prendre les mesures loin de cette singularité pour être en régime établi. La hauteur piézométrique relevée entre les points 7 et 21 étant fausse, les pertes de charges

calculées à partir des différences de hauteurs sont fausses. Ces points ne sont donc pas à prendre en compte lors du tracé.

Sachant que les pertes de charges $J_{reg,6,7}$ s'obtiennent via la formule (??) et que C_5 et C_7 sont connus, en combinant les équations (??) et (??) il vient l'équation (??) :

$$K_H = (C_5 - C_7 - J_{reg,6,7}) \frac{2g}{U^2} \quad (7)$$

La valeur du coefficient K est dans le tableau ??.

Il faut remarquer que dans notre cas, dans l'équation (??), H_m est nul car il n'y a pas de machine.

Remarque

Les valeurs aberrantes de pertes de charge aux points 25 et 26 sont dus à un élargissement brusque. Les lignes de courant se décolent, il faut attendre assez longtemps pour que l'écoulement se rétablisse. Il ne faut donc pas prendre en compte ces pertes de charges négatives.

III.4 Mesure du débit à l'aide du Venturi et d'un débitmètre

Le Venturi est un organe déprimogène constitué d'une réduction de diamètre de la canalisation, augmentant la vitesse du fluide et diminuant sa pression puis d'une augmentation de diamètre produisant l'effet inverse. Connaissant la différence de pression entre les points 10 et 9 du circuit correspondant à la dépression induite par le Venturi et les sections du Venturi, il est possible de remonter au débit de l'écoulement en combinant l'équation de Bernoulli (équation (??)) et l'équation de conservation du débit (??). L'application de Bernoulli se fait entre les points 9 et 10, respectivement avant et après l'organe déprimogène du tube de Venturi. On obtient finalement l'expression ??.

$$Q_v = U_9 S_9 = U_{10} S_{10} \quad (8)$$

$$Q_v = S_9 \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{P_9 - P_{10}}{\left(\frac{S_9}{S_{10}}\right)^2 - 1}} \quad (9)$$

Afin de mesurer le débit circulant dans la canalisation, un compteur volumétrique et un chronomètre ont été utilisés afin de mesurer le débit. Les résultats des mesures sont compilés dans le tableau ?? dans l'annexe ?. Ainsi, un débit de $1,53 \cdot 10^{-3} m^3$ est trouvé grâce au compteur volumétrique et un débit de $1,62 \cdot 10^{-3} m^3$ avec le Venturi. L'ordre de grandeur du débit reste le même quel que soit l'organe de mesure utilisé. La légère variation pourrait s'expliquer par l'absence de prise en compte des pertes de charge du Venturi dans les calculs.

III.5 Analyse des lignes de charges, piézométriques et altitudes

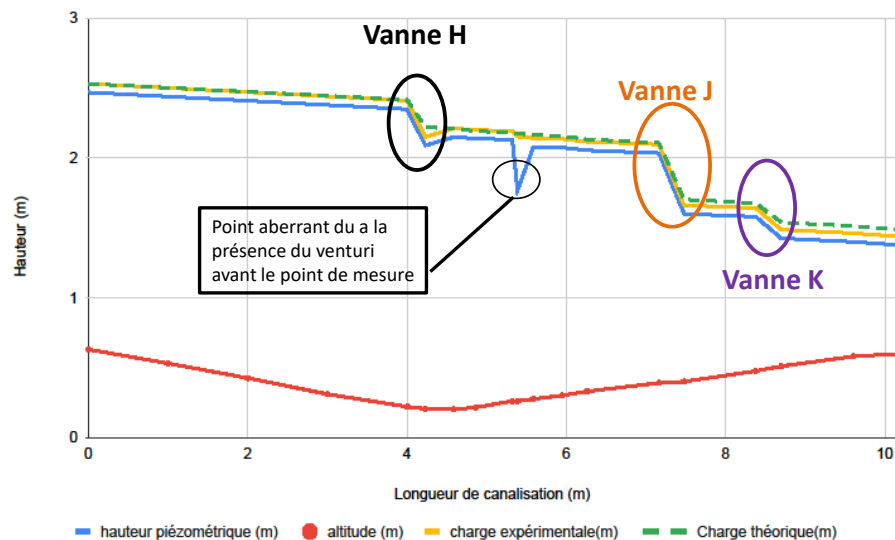


FIGURE 2 – Évolution de la hauteur en fonction de la longueur de tuyau du circuit I - II

Exploitation figure ?? Les courbes tracées sur la figure ?? représentent les différents termes de l'équation de Bernoulli (équation ??). La ligne d'altitude étant le terme "z", la ligne piézométrique prenant en compte les termes $\frac{P}{\rho g} + z$ et la ligne de charge C prenant en compte tout les termes de l'équation de Bernoulli.

Lorsque les courbes bleu, jaune et verte sont linéaires cela indique qu'aucune singularité n'est présente. Il n'y a donc que les pertes de charges régulières qui induisent une diminution de hauteur.

La ligne piézométrique décroît de manière linéaire avec l'altitude et les pertes de charge régulières. Les changement de pente sont dus aux pertes de charges singulières de l'installation.

Il est possible de remarquer que les courbes de charges expérimentales et théoriques sont confondues sur presque toute la longueur de la canalisation. Les points de décrochage se trouvent après les singularités créant une chute de charge et un point de mesure aberrant. La vanne I ne crée pas de perte de charges significativement visible sur le graphique ?? étant donné que son coefficient de pertes de charges singulières est très faible.

Il est observable que la pente d'altitude est décroissante puis croissante ce qui indique que l'installation étudiée est en pente et que le point le plus bas se situe après la vanne H. Une fois passé le point De plus, la ligne d'altitude est toujours inférieure aux autres lignes. Les risques de cavitations sont donc nuls dans cette installation.

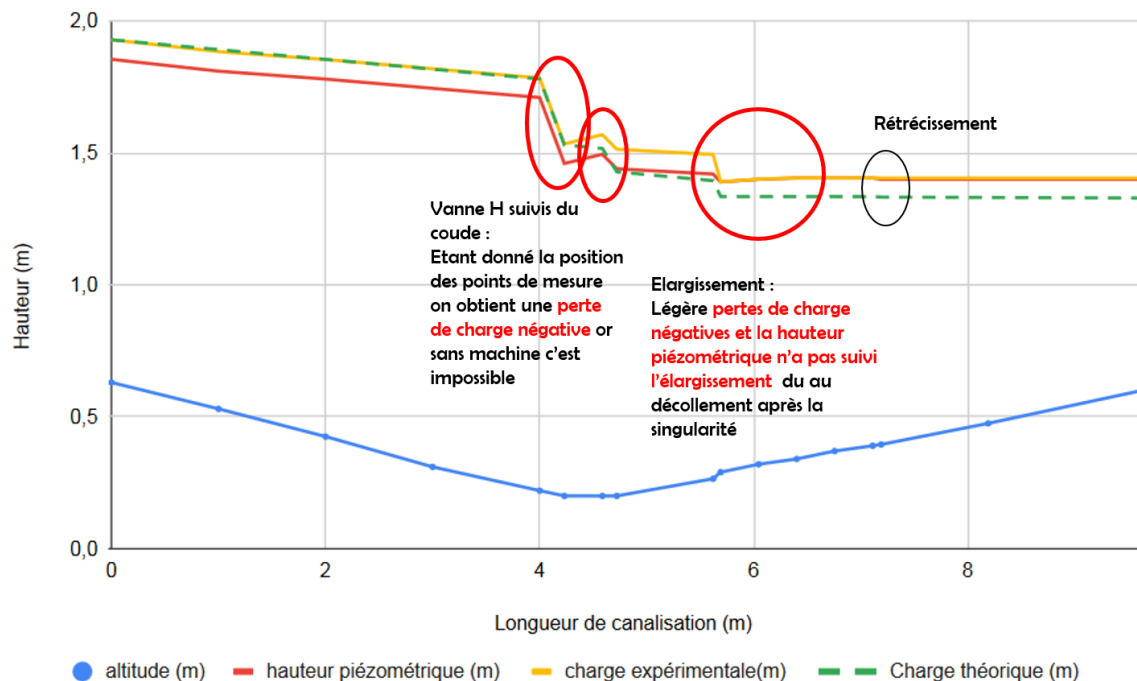


FIGURE 3 – Évolution de la hauteur en fonction de la longueur de tuyau du circuit I - III

Exploitation figure ?? Comme pour la figure ?? les différents tracés représentent les différents termes de l'équation de Bernoulli. Les mêmes remarques que pour la figure ?? sur l'origine des décrochements s'appliquent ici. La ligne de charge apparaît horizontale à partir de 5,5 m car le gain d'altitude compense les pertes de pression dans le calcul de la charge.

IV Conclusion

L'expérience menée a permis de soulever plusieurs remarques importantes concernant l'étude des pertes de charges dans un circuit hydraulique. La plus importante est qu'il faut être critique par rapport aux tracés des lignes de charges expérimentales. En effet des points de mesure de pression sont mal placés (trop près de singularité géométriques comme des vannes) peuvent mener à des "gains de charges" dans le fluide, ce qui n'est pas le cas en réalité, puisque aucune machine n'est présente. Certaines singularités entraînent en effet des décollements des lignes d'écoulement et donc des dépressions, ce qui peut induire en erreur.

Il a aussi été vérifié que toutes les vannes n'ont pas le même impact sur les pertes de charges, certaines entraînant de très importantes (la vanne à soupape J) alors que d'autres non (la vanne à passage direct I). D'ailleurs le coefficient de perte charge singulière de la vanne J a pu être déterminé grâce à des mesures.

Enfin, les tracés montrent que le modèle théorique des pertes de charges régulières est très bon, puisque lors du parcours d'une conduite droite, la pertes de charges augmentent linéairement avec la distance.

A Paramètre géométrique de l'installation

TABLE 2 – Paramètres géométriques des coudes

Coudes	D (mm)	r (mm)	β (°)	K
7-8	42	100	90	
18-19	42	220	90	
21-21	coude serré			1,13

TABLE 3 – Paramètre vanne

Vanne	K
I	0,24
J	$5 < K < 7,8$
K	$\frac{13,5}{\sqrt{D}}$ avec D en mm

B Données et valeurs calculées

TABLE 4 – Mesure du débit

	Compteur volumétrique		Venturi	
	Circuit II	Circuit III		
Temps (s)	426	419	$\Delta P / \rho g$ (m)	0,36
Volume (m ³)	0,65	0,7	Rapport de section	2,49
Débit (m ³ /s)	0,00153	0,00167	Débit (m ³ /s)	0,00162

B.1 Circuit I,II

TABLE 5 – Valeur expérimentales

points	Aistance entre points (m)	Abscisse (m)	Diamètre (m)	Altitude (m)	hauteur piézomé- trique (m)	$\frac{u^2}{2g}$ (m)	Charge ex- périen- tale(m)	Pertes de charge (m)
1	0	0	0,042	0,63	2,47	0,061820	2,5318	0
2	1	1	0,042	0,53	2,44	0,061820	2,5018	0,0300
3	1	2	0,042	0,425	2,41	0,061820	2,4718	0,0300
4	1	3	0,042	0,31	2,38	0,061820	2,4418	0,0300
5	1	4	0,042	0,22	2,35	0,061820	2,4118	0,0300
6	0,23	4,23	0,042	0,205	2,09	0,061820	2,1518	0,2600
7	0,355	4,585	0,042	0,2	2,15	0,061820	2,2118	-0,0600
8	0,275	4,86	0,042	0,215	2,14	0,061820	2,2018	0,0100
9	0,46	5,32	0,042	0,26	2,13	0,061820	2,1918	0,0100
10	0,066	5,386	0,0266	0,26	1,77	0,384240	2,1542	0,0376
11	0,2	5,586	0,042	0,275	2,08	0,061820	2,1418	0,0124
12	0,355	5,941	0,042	0,3	2,075	0,061820	2,1368	0,0050
13	0,32	6,261	0,042	0,33	2,055	0,061820	2,1168	0,0200
14	0,9	7,161	0,042	0,39	2,035	0,061820	2,0968	0,0200
15	0,315	7,476	0,042	0,4	1,6	0,061820	1,6618	0,4350
16	0,9	8,376	0,042	0,475	1,58	0,061820	1,6418	0,0200
17	0,32	8,696	0,042	0,51	1,425	0,061820	1,4868	0,1550
18	0,905	9,601	0,042	0,58	1,4	0,061820	1,4618	0,0250
19	0,61	10,211	0,042	0,6	1,375	0,061820	1,4368	0,0250

TABLE 6 – Valeur théoriques

Re	Lambda	Jrég (m)	Singularités	K	Jsing (m)	Jtotal (m)	Charge théorique(m)
4,6E+04	0,0215	0		0	0	0	2,53
4,6E+04	0,0215	2,88E-02		0	0	0,03	2,50
4,6E+04	0,0215	2,88E-02		0	0	0,03	2,47
4,6E+04	0,0215	2,88E-02		0	0	0,03	2,45
4,6E+04	0,0215	2,88E-02		0	0	0,03	2,42
4,6E+04	0,0215	6,62E-03	vanne 3 voies	3,1	1,90E-01	0,20	2,22
4,6E+04	0,0215	1,02E-02		0	0	0,01	2,21
4,6E+04	0,0215	7,92E-03	coude	1,39E-01	8,58E-03	0,02	2,19
4,6E+04	0,0215	1,32E-02		0,00	0	0,01	2,18
7,3E+04	0,0192	6,67E-03	Venturi	0,00	0	0,01	2,17
4,6E+04	0,0215	5,76E-03		0,00	0	0,01	2,17
4,6E+04	0,0215	1,02E-02		0,00	0	0,01	2,16
4,6E+04	0,0215	9,22E-03	vanne I	0,24	1,48E-02	0,02	2,13
4,6E+04	0,0215	2,59E-02		0,00	0	0,03	2,11
4,6E+04	0,0215	9,07E-03	vanne J	6,40	3,96E-01	0,40	1,70
4,6E+04	0,0215	2,59E-02		0,00	0	0,03	1,68
4,6E+04	0,0215	9,22E-03	vanne K	2,08	1,29E-01	0,14	1,54
4,6E+04	0,0215	2,61E-02		0	0	0,03	1,51
4,6E+04	0,0215	1,76E-02	coude	1,31E-01	8,13E-03	0,03	1,49

B.2 Circuit I,III

TABLE 7 – Valeurs expérimental

points	distance entre points (m)	abscisse (m)	diamètre (m)	altitude (m)	hauteur pié- zométrique (m)	u2/2g (m)	charge expérien- tale(m)	pertes de charge (m)
1	0	0	0,042	0,63	1,855	7,41E-02	1,93	0,00E+00
2	1	1	0,042	0,53	1,81	7,41E-02	1,88	4,50E-02
3	1	2	0,042	0,425	1,78	7,41E-02	1,85	3,00E-02
4	1	3	0,042	0,31	1,745	7,41E-02	1,82	3,50E-02
5	1	4	0,042	0,22	1,71	7,41E-02	1,78	3,50E-02
20	0,23	4,23	0,042	0,2	1,46	7,41E-02	1,53	2,50E-01
21	0,355	4,585	0,042	0,2	1,495	7,41E-02	1,57	-3,50E-02
22	0,135	4,72	0,042	0,2	1,44	7,41E-02	1,51	5,50E-02
23	0,9	5,62	0,042	0,265	1,42	7,41E-02	1,49	2,00E-02
24	0,07	5,69	0,1336	0,29	1,39	7,24E-04	1,39	1,03E-01
25	0,355	6,045	0,1336	0,32	1,4	7,24E-04	1,40	-1,00E-02
26	0,355	6,4	0,1336	0,34	1,405	7,24E-04	1,41	-5,00E-03
27	0,355	6,755	0,1336	0,37	1,405	7,24E-04	1,41	0,00E+00
28	0,355	7,11	0,1336	0,39	1,405	7,24E-04	1,41	0,00E+00
29	0,08	7,19	0,0836	0,395	1,4	4,72E-03	1,40	1,00E-03
30	1	8,19	0,0836	0,475	1,4	4,72E-03	1,40	0,00E+00
31	1,44	9,63	0,0836	0,6	1,4	4,72E-03	1,40	0,00E+00

TABLE 8 – Valeur théoriques

points	Re	Lambda	Jrég (m)	K	Jsing (m)	Jtotal (m)	Charge théorique (m)
1	50646	0,021	0		0	0	1,93
2	50646	0,021	3,72E-02		0	0,037	1,89
3	50646	0,021	3,72E-02		0	0,037	1,85
4	50646	0,021	3,72E-02		0	0,037	1,82
5	50646	0,021	3,72E-02		0	0,037	1,78
20	50646	0,021	8,55E-03	3,258	2,41E-01	0,250	1,53
21	50646	0,021	1,32E-02		0	0,013	1,52
22	50646	0,021	5,02E-03	1,130	8,37E-02	0,089	1,43
23	50646	0,021	3,35E-02		0	0,033	1,40
24	15921,6	0,028	1,07E-05	0,812	6,02E-02	0,060	1,33
25	15921,6	0,028	5,41E-05		0	0,000	1,33
26	15921,6	0,028	5,41E-05		0	0,000	1,33
27	15921,6	0,028	5,41E-05		0	0,000	1,33
28	15921,6	0,028	5,41E-05		0	0,000	1,33
29	25444,1	0,025	1,13E-04	2,406	1,74E-03	0,002	1,33
30	25444,1	0,025	1,41E-03		0	0,001	1,33
31	25444,1	0,025	2,03E-03		0	0,002	1,33