Hydraulique à surface libre

2ème année MFEE

Rapport

Encadrant : O. THUAL

Table des matières

In	trod	uction	3					
1	Etude des vagues							
	1.1	Modèle théorique d'une rupture de barrage	4					
		1.1.1 Présentation du problème	4					
		1.1.2 Résolution du problème	5					
	1.2	Étude expérimentale d'une rupture de barrage	6					
		1.2.1 Protocole expérimental	6					
	1.3	Étude de la pertinence de la modélisation	8					
2	Étude des Ressauts Hydrauliques							
	2.1	Première approche	9					
	2.2	Succession de ressauts stationnaires	10					
	2.3	Caractéristiques d'un choc mobile	13					
		2.3.1 Vitesse du choc	13					
		2.3.2 Prévision de la trajectoire par les caractéristiques	14					
	2.4	Rencontre de deux phénomènes indépendants	15					
C	onclu	ision	18					

Table des figures

1	Situation initiale de la rupture de barrage	6
2	Représentation schématique de l'apparition des vagues dans le canal	7
3	Représentation de la situation initiale avant formation des ressauts	9
4	Représentation schématique des deux ressauts instationnaires	9
5	Plusieurs ressauts stationnaires dans le canal	11
6	Comparaison des lignes d'eau du ressaut immobile et du ressaut mobile en $x=1.25\mathrm{m}$ $~.$	11
7	Comparaison des lignes d'eau du ressaut immobile et du ressaut mobile en $x=2.8\mathrm{m}$	12
8	Comparaison des lignes d'eau du ressaut immobile et du ressaut mobile en $x=6.9\mathrm{m}$	12
9	Évolution de la vitesse du ressaut mobile avec le temps	13
10	Tableau des valeurs des pentes de caractéristiques pour deux points pour le ressaut mobile	14
11	Caractéristiques d'un ressaut mobile	15
12	Schématisation des caractéristiques des deux phénomènes : détente et ressaut mobile pour	
	l'obtention d'un « double ressaut »	16
13	Schématisation des zones homogènes des caractéristiques du double ressauts	16
14	Schématisation des caractéristiques des deux ressauts avant leur fusion	17



Introduction

Le but de ces 3 séances de TP était de s'approprier les canaux de l'ENSEEIHT ainsi que les notions du cours d'hydraulique à surface libre. Pour cela nous avons pu essayer différentes configurations des canaux de travaux pratiques. Nous nous sommes concentrés sur le grand canal. Lors de la première séance nous avons notamment pu mettre différents obstacles pour créer des ressauts et regarder leurs influences.

En ce qui concerne les 2 séances en autonomie, nous nous sommes focalisés sur 2 aspects de l'hydraulique à surface libre : la détente et les ressauts mobiles. Notre but était de pouvoir caractériser deux phénomènes qui, couplés, permettent de générer un « double ressaut instationnaire », qui fusionne en un seul ressaut hydraulique après un état transitoire. C'est un phénomène que nous nous étions appliqués à générer durant la première séance. Si la détente n'est pas un choc à proprement parler, la fusion de celle ci avec un ressaut mobile nous semblait intéressante.

Ainsi, caractériser ces deux phénomènes pourrait nous permettre de mieux comprendre la fusion de deux phénomènes distincts, avec potentiellement une ouverture au cas des doubles ressauts.



1 Etude des vagues

Lors de notre première séance nous nous sommes rendu compte que nous pouvions créer une vague à la limite du déferlement en noyant la vanne amont du grand canal puis en libérant une grosse quantité d'eau en relevant subitement cette vanne. Cette situation est assimilable à l'étude théorique d'une rupture de barrage. Lors d'une rupture de barrage, les paramètres importants qu'il faut déterminer sont la hauteur et la vitesse de cette vague. Nous avons donc repris un exercice du cours modélisant la vague comme un ressaut à l'aval et une détente à l'amont du barrage et comparé les valeurs théoriques et pratiques. Cela permettra de voir si cette approche (modélisation) est pertinente pour des cas concrets.

1.1 Modèle théorique d'une rupture de barrage



1.1.1 Présentation du problème

Lors d'une rupture de barrage, nous avons la formation d'une vague à l'aval qui menace alors les populations ou les enjeux économiques qui s'y trouvent. La modélisation, et surtout la prévention de cette dernière, sont alors des enjeux primordiaux. Dans le cadre de notre cours d'hydraulique à surface libre, la modélisation de cette rupture et la propagation de la vague formée à l'aval sont des phénomènes que l'on peut résoudre analytiquement.

On reprend ici le modèle vu dans l'exercice 6.3 du livre "Hydrodynamique de l'environnement" de **Olivier Thual**. On suppose donc dans ce modèle théorique un écoulement dans un canal répondant aux hypothèses des équations de Saint-Venant et que le fond est sans pente et sans frottement.

Avant la rupture du barrage, on considère que l'eau à gauche du barrage est à vitesse nulle et d'une hauteur h_0 . A droite, on considère également que l'eau a une vitesse nulle et une hauteur h_2 . Dans notre cas pratique les vitesse ne sont pas nulles mais très négligeables (d'où l'importance de la vanne amont noyée). A l'instant t_0 , on a retiré brusquement l'obstacle que représentait la vanne, ce qui induit la formation d'une détente centrée à gauche et d'un choc à droite.

1.1.2 Résolution du problème

Relations de saut :

$$\begin{cases} h_1 \cdot (U_1 - W) = h_2 \cdot (U_2 - W) \\ h_1 \cdot U_1 \cdot (U_1 - W) + \frac{1}{2} \cdot gh_1^1 = h_2 \cdot U_2 \cdot (U_2 - W) + \frac{1}{2} \cdot gh_1^2 \end{cases}$$
(1)

Or on a $U_2 = 0$, ce qui donne :

$$\begin{cases} h_1 \cdot (U_1 - W) = -h_2 \cdot W \\ h_1 \cdot U_1 \cdot (U_1 - W) + \frac{1}{2} \cdot gh_1^1 = +\frac{1}{2} \cdot gh_1^2 \\ \Rightarrow \begin{cases} U_1 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} W \\ -\frac{(h_1 - h_2)h_2}{h_1} W^2 + \frac{1}{2} \cdot gh_1^2 = +\frac{1}{2} \cdot gh_1^2 \end{cases}$$
$$\Rightarrow \begin{cases} W = \sqrt{\frac{1}{2}g \frac{(h_1^2 - h_2^2)h_1}{(h_1 - h_2)h_2}} = \sqrt{\frac{1}{2}g \frac{(h_1 - h_2)(h_1 + h_2)h_1}{(h_1 - h_2)h_2}} = \sqrt{\frac{1}{2}g \frac{(h_1 + h_2)h_1}{h_2}} \\ U_1 = \frac{h_1 - h_2}{h_1} W = (h_1 - h_2)\sqrt{\frac{1}{2}g \frac{h_1 + h_2}{h_1h_2}} \end{cases}$$
(2)

On sait que les J_1 sont constants le long des C_1 . En se plaçant au niveau de la détente, on obtient $U_1 + 2c_1 = 2c_0$. On a de plus U_1 en fonction de $c_1 = \sqrt{gh_1}$ et $c_2 = \sqrt{gh_2}$:

$$\begin{cases} U_1 = 2(c_0 - c_1) \\ U_1 = \frac{c_1^2 - c_2^2}{c_1 c_1} \sqrt{\frac{c_1^2 - c_2^2}{2}} \end{cases}$$

En posant $X = \frac{c_1}{c_2}$ et $Y = \frac{c_0}{c_2}$, on obtient ainsi la relation suivante :

$$2(Y - X) = \frac{1}{\sqrt{2}}(X^2 - 1)\sqrt{1 + \frac{1}{X^2}}$$
$$\Rightarrow Y = X + \frac{1}{2\sqrt{2}}(X^2 - 1)\sqrt{1 + \frac{1}{X^2}}$$
(3)

Ainsi, comme dans le livre, on peut obtenir c_1 en fonction des données c_0 et c_2 . Sur notre expérience nous avions :

$$c_0 = \sqrt{gh_0} \quad c_2 = \sqrt{gh_2}$$

On en déduit :

$$Y = \frac{c_0}{c_2}$$

On lit ensuite graphiquement :

$$X = \frac{c_1}{c_2}$$

Finalement, on obtient la vitesse de propagation du ressaut (et donc de la vague) en déterminant préalable-



ment U_1 :

$$U_1 = 2(c_0 - c_1)$$

$$\Rightarrow W = \frac{U_1}{1 - \frac{h_2}{h_1}} = \frac{U_1}{1 - \frac{(c_2)^2}{(c_1)^2}}$$

1.2 Étude expérimentale d'une rupture de barrage

1.2.1 Protocole expérimental

Pour obtenir ces vagues, nous partions de la situation suivante : Une hauteur d'eau en amont du barrage de 43 cm et en aval de 19 cm. Comme nous pouvons le voir sur le schéma représentant notre état initial, nous n'étions pas exactement dans les mêmes dispositions que pour le cas théorique. Nous n'avions également pas des vitesses nulles en amont et en aval, bien que celle en amont était très faible. A partir des hauteurs en amont et en aval, nous sommes capables de déterminer la vitesse du ressaut à l'aval. Nous avons donc déterminé expérimentalement cette valeur et nous pourrons ainsi la comparer à celle de la théorie, bien que nous n'ayons pas un ressaut mais une vague. Selon l'erreur commise, nous pourrons déterminer si le modèle est pertinent.



FIGURE 1 – Situation initiale de la rupture de barrage

On obtient alors la situation suivante



FIGURE 2 – Représentation schématique de l'apparition des vagues dans le canal

On a mesuré la vitesse du choc en relevant le temps que mettait la vague sur une grande distance dans le canal. On a obtenu :

$$W_{exp} = 2, 2m/s \tag{4}$$

Nous avions également relevé la heuteur de la vague qui était $h_{1,exp} = 37$ cm.

On a comparé cette valeur avec la valeur théorique obtenue plus haut. On a $c_0 = \sqrt{gh_0} = 2.054m/s$ et $c_2 = \sqrt{gh_2} = 1.365m/s$.

On a donc :

$$Y = \frac{c_0}{c_2} = 1.5 \tag{5}$$

On en déduit X, grâce au tracé de Y = f(X): X = 1.25 ce qui nous permet d'avoir c_1 .

On a donc :

$$h_{1,th} = \frac{c_1^2}{g} = \frac{(X \cdot c_2)^2}{g} = \frac{(1.25 \cdot 1.365)^2}{9.81} = 30$$
 cm

$$U_1 = 2(c_0 - c_1) = 2c_2(Y - X) = 2\sqrt{gh_2}(Y - X)$$

Analyse numérique :

$$U_1 = 2 \cdot 1.365 \cdot (1.5 - 1.25) = 0.6825 \ m/s$$

On obtient donc pour W :



$$W_{th} = \frac{U_1}{1 - (\frac{1}{X})^2} = \frac{0.6825}{1 - \frac{1}{1.25^2}} = 1.9m/s \tag{6}$$

On a un résultat proche de la valeur expérimentale puisque l'erreur relative n'est que de 14 % pour la vitesse et de 19 % pour la hauteur de la vague.

$$e_{r,vitesse} = \frac{|W_{exp} - W_{th}|}{W_{exp}} = 14\%$$

$$\tag{7}$$

$$e_{r,hauteur} = \frac{|h_{1,exp} - h_{1,th}|}{h_{1,exp}} = 19$$
(8)

1.3 Étude de la pertinence de la modélisation

Nous avons donc créé une vague à la limite du déferlement en simulant une rupture de barrage. Nous avons résolu théoriquement ce problème physique et nous l'avons ensuite comparé aux résultats que nous observions. Les erreurs relatives, que ce soit pour la hauteur ou la vitesse, sont plutôt correcte (inférieur à 20%) vu toutes les simplifications du modèle.

Néanmoins, pour véritablement correspondre à cette modélisation, il aurait fallu avoir des vitesses parfaitement nulles de part et d'autre de la vanne amont, ce qui n'était pas exactement le cas. De plus, notre vague était à la limite du déferlement ce qui signifie que d'autres phénomènes entrent en jeu. Finalement, dans notre cas pratique l'obstacle ne cède pas subitement puisque qu'il s'agit d'une vanne que nous remontions avec une vitesse relativement lente. L'eau n'était donc pas vraiment lâchée subitement. Ces trois points expliquent donc pourquoi notre erreur relative, qui bien que faible, n'est pas presque nulle.

On peut également conclure que cette modélisation reste pertinente pour modéliser et donner des ordres de grandeurs. Cependant, il faudrait faire attention au fait que l'on sous-estime la vitesse et la hauteur de la vague par cette méthode. Il doit alors être possible de déterminer expérimentalement un facteur pour corriger ces deux grandeurs, qui peuvent présenter plus de risques si elles sont plus grandes. L'utilisation de ce modèle impliquerai ainsi un facteur de sécurité important.

2 Étude des Ressauts Hydrauliques

Notre but par le biais de ces nouvelles expériences était d'observer deux phénomènes mobiles (l'un allant de l'amont vers l'aval, et inversement) et de caractériser leur « transition » vers un ressaut unique. Nous n'avons pas réussi dans le canal, puisque celui ci est trop court, à confronter une rupture de barrage en amont et une remontée de seuil en aval. Nous avions réalisé au cours de la première séance deux ressauts hydrauliques mobiles, qui se rencontrent comme sur le schéma représentée sur la figure 4.

La rupture de barrage ayant été caractérisée, nous nous sommes intéressés à un unique ressaut mobile. D'abord pour éventuellement pouvoir caractériser les deux, mais si possible pour comprendre comment traiter par la méthode des caractéristiques la coexistence des deux **ressauts** que nous avions pu observer.



FIGURE 3 – Représentation de la situation initiale avant formation des ressauts



FIGURE 4 – Représentation schématique des deux ressauts instationnaires

2.1 Première approche

Dans un premier temps nous avons généré plusieurs ressauts avec différentes caractéristiques. Nous avons considéré la vitesse à droite U_R toujours nulle puisque nous sommes dans la période transitoire juste après avoir remonté la vanne aval. Nous avons mesuré les hauteurs h_L et h_R des ces ressauts, ainsi que la vitesse moyenne du choc sur la longueur du canal. Les valeurs obtenues expérimentalement sont récapitulées dans le tableau suivant :

	h_L (m)	h_R (m)	Fr_L relatif	Fr_R relatif	$U_L \ ({\rm m/s})$	$W \exp (m/s)$	W théo $\left(\mathrm{m/s}\right)$	Erreur (%)
1	0,076	0,16	1,57	0,79	$0,\!68$	-0,68	-0,74	8,6~%
2	$0,\!05$	$0,\!15$	2,1	$0,\!65$	1	-0,46	-0,57	$20 \ \%$
3	0,035	$0,\!13$	3,0	0,47	1,5	-0,28	-0,47	46 %

On vérifie comme prévu que les nombres de Froude relatifs à gauche et à droite du ressaut sont respectivement >1 et <1. La vitesse théorique du ressaut est calculée à partie de la formule suivante :

$$W_{th\acute{e}o} = \pm \ \sqrt{g \cdot \frac{h_L}{h_R} \cdot \frac{h_L + h_R}{2}}$$

Il apparaît très rapidement que les vitesses W calculées expérimentalement et obtenues de façon théorique sont très différentes. On varie de 8 à quasiment 50% d'erreur sur les calculs : nos méthodes de mesure sont erronées.

D'abord par la durée de l'expérience puisque l'hypothèse $U_R = 0$ n'est pas valable sur de si grande durées. De plus le ressaut n'est pas animé d'une vitesse constante, ce qui ne va pas avec notre méthode d'estimation de W. Cet effet est d'ailleurs d'autant plus marqué que la hauteur fixée en amont est faible. Enfin une dernière source d'erreur provient du choix de h_R et h_L puisque nous les mesurons assez loin du ressaut (puisque celui ci est en mouvement nous devions avoir une référence fixe). Or la courbe de remous en amont du ressaut étant de type M1 la hauteur varie conséquemment sur la longueur du canal : les valeurs de h_R relevées ne sont pas les bonnes.

2.2 Succession de ressauts stationnaires

Pour mieux caractériser notre ressaut instationnaire, et puisque les premières expériences réalisées n'étaient pas une bonne approche, nous avons souhaité voir si un ressaut instationnaire était une « succession de ressauts stationnaires » ou bien un phénomène tout à fait différent.

Nous avons commencé par décrire trois ressauts stationnaires à différentes positions dans le canal (Le débit Q est gardé constant). Ceux ci sont représentés sur la figure 5 les uns après les autres (dans la réalité ils n'étaient évidemment pas présent en même temps ...). Nous vérifions sur ces trois ressauts que les relations de saut sont bien vérifiées, puisque l'impulsion est conservée dans les trois cas (à l'erreur de mesure prêt).

	$h~({\rm cm})$	Vitesse (m/s)	Impulsion \mathcal{I} (m)	Erreur (%)
1 L	5,2	1,68	0,161	1,1~%
1 R	15,1	$0,\!58$	0,163	
2 L	$5,\!4$	$1,\!62$	$\approx 0,156$	0,2~%
2 R	$14,\!5$	0,60	$\approx 0,156$	
3 L	6,8	1,28	0,136	2,9~%
3 R	11,5	$0,\!76$	0,132	

Connaissant les hauteurs de ligne d'eau de cette façon, nous avons souhaité vérifier si la ligne d'eau d'un ressaut remontant toute la longueur du canal évoluait en prenant les mêmes valeurs que les ressauts



FIGURE 5 – Plusieurs ressauts stationnaires dans le canal

stationnaires aux mêmes abscisses. Pour cela nous avons à nouveau réalisé un ressaut mobile que nous avons filmé pour pouvoir analyser chaque étape de son déplacement, puisque nous avions vu que les valeurs moyennes ne pouvaient pas être utilisées.

Les figures ci-après présentent une comparaison des lignes d'eau du ressaut mobile avec celles des ressauts immobiles aux mêmes positions.







FIGURE 7 – Comparaison des lignes d'eau du ressaut immobile et du ressaut mobile en $x=2.8\mathrm{m}$



FIGURE 8 – Comparaison des lignes d'eau du ressaut immobile et du ressaut mobile en x = 6.9m

Ces graphiques ne permettent pas de conclure par rapport à notre hypothèse concernant le ressaut mobile. En effet, il y a un écart important sur les hauteurs à droite du ressaut. Cela peut s'expliquer par le fait qu'il est compliqué de déterminer le moment exact où le ressaut passe par la position souhaitée, étant donnée que son déplacement est rapide, et qu'il est étendu (contrairement à la théorie). De plus, la lecture des hauteurs d'eau sur la vidéo est compliquée à cause des remous importants. De plus, dans le cas instationnaire, la vitesse du ressaut n'est, par définition, pas nulle. C'est alors la vitesse relative qui entre en jeu. De plus la condition limite Aval influence la hauteur h_R , ce qui implique forcément que les lignes d'eau sont différentes dans le cas stationnaire et instationnaire. Cependant, remarquons que plus on s'éloigne de l'aval plus la concordance est bonne.

Notre incapacité à caractériser correctement le ressaut mobile de cette façon nous a donc poussée à l'approcher par la méthode des caractéristiques.

2.3 Caractéristiques d'un choc mobile

2.3.1 Vitesse du choc



FIGURE 9 – Évolution de la vitesse du ressaut mobile avec le temps

Ayant à disposition les images d'un choc mobile facilement exploitable, nous avons étudié l'évolution temporelle de la position et de la vitesse du choc. La vitesse en fonction du temps est présentée sur la figure 9. On remarque effectivement que cette vitesse n'est pas constante dans le temps comme on l'avait constaté durant les premières manipulations ce qui est normal puisque celui ci doit ralentir pour se stabiliser. La vitesse a une évolution qui semble logarithmique : elle décroît (en valeur absolue) et tend vers 0 à l'infini. Le ressaut se stabilise là où la hauteur h_L est conjuguée à h_R par l'impulsion. Cela veut dire que pour le ressaut mobile, les relations de saut ne sont vérifiées que dans le repère du choc, c'est à dire que les hauteurs sont conjuguées pour l'impulsion sur la courbe $q = q_W = h \cdot (U - W)$. On retrouve bien que pour W = 0, les hauteurs de part et d'autre du ressaut sont conjuguées pour le débit q = hU.

2.3.2 Prévision de la trajectoire par les caractéristiques

Pour compléter l'étude d'un ressaut mobile, nous nous sommes intéressés aux caractéristiques de celui ci. Puisque la hauteur d'eau h_L en amont diminue quand on s'éloigne du ressaut, il en est de même pour la célérité $C_L = \sqrt{g \cdot h_L}$. Ainsi, les inverses des pentes des caractéristiques sont $U_L + C_L$ et $U_L - C_L$. Puisque nous sommes en régime torrentiel, ces deux grandeurs sont positives. Les résultats que nous avons pu obtenir sont détaillés dans le tableau de la figure 10.

Les valeurs ont été calculées par les formules classiques :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}} = \frac{U}{C}$$
, $C = \sqrt{g \cdot h}$ et $U = \frac{Q}{h \cdot L}$ (9)

avec Fr le nombre de Froude, U la vitesse du fluide, g l'accélération de la gravité, h la hauteur d'eau, C la célérité de l'information, Q le débit, et L = 0.25m la largeur du canal.

	AVA	AL.	AMONT	
Froude R	0,4370082426		0,4370082426	
Froude L	1,236045967		2,168330947	
hR	0,16	m	0,16	m
hL	0,08	m	0,055	m
cR	1,252836781	m/s	1,252836781	m/s
cL	0,8858893836	m/s	0,7345406728	m/s
uR	0,5475	m/s	0,5475	m/s
uL	1,095	m/s	1,592727273	m/s
Q =	21,9	L/s	21,9	L/s
	Pentes inverses	Pentes réelles	Pentes inverses	Pentes réelles
UR-CR	-0,7053367811	-1,417762446	-0,7053367811	-1,417762446
UR+CR	1,800336781	0,5554516302	1,800336781	0,5554516302
UL+CL	1,980889384	0,5048237465	2,327267946	0,4296883829
UL-CL	0,2091106164	4,782157966	0,8581865999	1,165247745

FIGURE 10 – Tableau des valeurs des pentes de caractéristiques pour deux points pour le ressaut mobile.

Les deux mesures ont été faites en amont du ressaut, le point AVAL est en revanche situé plus à droite que le point AMONT : $x_{AMONT} = 1.25$ m et $x_{AVAL} = 2.8$ m. Nous n'avons relevé que deux points car nous souhaitions au départ uniquement observer les lignes d'eau, et nous nous sommes malheureusement rendu compte trop tard qu'il fallait plus de point pour tracer les caractéristiques. Nous n'avons donc pas eu les moyens de tracer précisément les caractéristique de notre choc mais le tracé schématique est présenté sur la figure 11.



FIGURE 11 – Caractéristiques d'un ressaut mobile

La trajectoire du choc est représentée d'après les données que nous avons pu obtenir par l'expérience (qui ont également permis de tracer la vitesse dans le temps). Le nombre de courbes caractéristiques à gauche du ressaut est bien supérieur à ce que nous avions mesuré puisque nous n'avions que deux points. La représentation de nos résultats n'était pas assez parlante ni précise, c'est pourquoi elle ne figure pas ici : un graphique avec plusieurs courbes est plus pertinent.

La vitesse de propagation de l'information à gauche du choc diminue plus on s'éloigne du ressaut (en remontant vers l'amont). C'est ce qui explique que le choc ralentisse en avançant, avant de s'arrêter lorsque les hauteurs h_L et h_R sont conjuguées. On vérifie bien que pour que le choc s'arrête, il faut à l'amont U = C, c'est à dire $U = \sqrt{gh}$ soit $F_r = 1$.

Remarquons qu'en connaissant suffisamment précisément la ligne d'eau en aval du ressaut il est possible de déduire toutes les caractéristiques et donc prédire la trajectoire du choc.

2.4 Rencontre de deux phénomènes indépendants

Connaissant les caractéristiques qui définissent un ressaut mobile, ainsi que celles qui définissent une détente (le deuxième type de phénomène étudié ici), la juxtaposition schématique donne le résultat présenté sur la figure 12. En choisissant correctement les hauteurs d'eau à gauche et à droite (amont et aval) il est possible de choisir la position de stabilisation du choc issu de la fusion des deux phénomènes par l'analyse des caractéristiques.



FIGURE 12 – Schématisation des caractéristiques des deux phénomènes : détente et ressaut mobile pour l'obtention d'un « double ressaut »

Nous sommes également capables de tracer schématiquement les caractéristiques dans le cas où ce serait cette fois un ressaut à gauche à la place de la détente. Nous aurions donc un second ressaut mobile dont les caractéristiques ressemblerait à la figure 11. On a alors le schéma simplifié suivant, avec trois zones distinctes où les caractéristiques sont identiques :



FIGURE 13 – Schématisation des zones homogènes des caractéristiques du double ressauts



Ce qu'il faut retenir pour ce double ressaut, c'est qu'on parle bien de régime torrentiel ou fluvial, relativement à un ressaut ou à un autre. Les vitesses des ressauts n'étant pas nulles on considère la vitesse relative U - W pour le calcul du Froude, et c'est ce qui permet de passer deux fois de suite de torrentiel à fluvial, et donc l'existence de deux ressauts instationnaires en même temps.

Nous avions les données des hauteurs et des vidéos des ressauts, nous avons donc pu reconstruire les caractéristiques expérimentales de notre double ressaut :



FIGURE 14 – Schématisation des caractéristiques des deux ressauts avant leur fusion



Conclusion

Les expériences réalisées durant ces quelques séances avaient pour objectif de savoir prédire le comportement d'un « double ressaut », c'est à dire une rupture de barrage en amont et un ressaut hydraulique en aval. Pour cela, nous avons étudié séparément les deux phénomènes afin de mieux cerner les problématiques mises en jeu.

L'étude d'une rupture de barrage expérimentale, donc la création d'une vague proche déferlement, fût forte intéressante pour observer la limite des modèles théoriques existants dans la littérature. Cette étude nous a également permis de caractériser un premier choc qui peut entrer en jeu lors d'une expérience de fusion de chocs, en particulier les hauteurs et vitesses qui le décrivent.

Pour ce qui est du ressaut mobile, il a malheureusement été difficile de prédire un comportement à l'avance, mais nous avons pu comprendre comment celui ci se déplace dans le temps et l'espace avant de se stabiliser. Avoir essayé de tracer les caractéristiques dans un cas réel a mis en avant la difficulté de la mesure expérimentale, surtout dans un référentiel mobile.

Finalement, l'étude des caractéristiques pour le ressaut mobile a tout de même permis d'appréhender le phénomène de double ressauts mobiles et leur fusion vers un unique ressaut.

