

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université El Hadj Lakhdar Batna
Faculté des sciences de l'ingénieur
Département de l'hydraulique

M É M O I R E

Présenté pour obtenir le diplôme de
Magistère en hydraulique

OPTION : SCIENCES HYDRAULIQUES

Thème :

ETUDE D'UN ECOULEMENT INSTATIONNAIRE A L'AVAL DES OUVRAGES HYDRAULIQUES ET SON INFLUENCE SUR LES LITS DES CANAUX

Présenté par :

MERAIHI FATEH

Soutenu le : /.... /2009

Devant le jury composé de :

Président	Mr M. DEBABECHE	PR	Université de BISKRA
Rapporteur	Mr A. FOURAR	M.C	Université de BATNA
Examineurs	Mr N. LAHBARI	M.C	Université de BATNA
	Mr R. MENANI	M.C	Université de BATNA

Dédicaces

« Je dédie ce modeste travail :

*à toute ma famille, mon père, ma mère, mes frères et sœurs, à tous mes amis et
proches et à tous personnes ayant contribué à ce travail de près ou de loin. »*

Remerciements

« Tout d'abord Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Je remercie en second mes parents, qui ont sacrifiés leur vie pour notre bien.

En fin, j'adresse mes sincères remerciements, reconnaissances et gratitude à tous mes enseignants, et en particulier le directeur de ce mémoire Dr.Fourar Ali, pour ses précieux conseils, et sa disponibilité.

Je tiens aussi à remercier également le président et les membres de jury d'avoir accepter d'examiner mon travail. »

Résumé

Ce mémoire s'intéresse tout particulièrement à la rupture d'un barrage et les effets que peut induire l'onde générée par la rupture sur l'aval.

En pratique les conséquences des crues de rupture sont difficilement qualifiables si les calculs hydrauliques complets de la crue de rupture ne sont pas réalisés.

Dans cette étude, nous abordons différentes phases des calculs inhérents à l'étude de rupture d'un barrage. Nous présentons et analysons autant que faire se peut les méthodes simples ou complexes disponibles pour réaliser un portrait aussi parfait que possible de la propagation de la crue de rupture.

Mots clés : Ecoulement instationnaire – Rupture de barrage – Onde de rupture – Equation de Saint Venant – Méthodes numériques.

Abstract

Particularly this memory interests to dam break and the effect that will induce by wave generated by dam break the downstream.

Practices the consequences of the floods resulting of dam break are with difficulty to estimate if the hydraulic calculations suit of the floods of break is not realized.

In this study, we approach various phases of the calculations inherent to the study of break of a dam. We present and analyze so much that to make can the available simple or complex methods to realize a portrait as perfect as possible of the distribution of the floods of break.

Key words: Unsteady flow – Dam break – Dam break wave – Saint-Venant equation – Numerical methods.

Table de matières

CHAPITRE. I. INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE. II. RUPTURE DE BARRAGE ET CRUES RESULTANTES.....	3
II.1. LES BARRAGES A TRAVERS L’HISTOIRE	3
II.2. TYPES DE BARRAGES.....	3
<i>II.2.1. Barrages poids en béton.....</i>	<i>4</i>
<i>II.2.2. Barrages en remblai.....</i>	<i>4</i>
II.3. RUPTURE DE BARRAGE	5
<i>II.3.1. Causes de rupture des barrages</i>	<i>5</i>
<i>II.3.2. Fiabilité des structures hydrauliques</i>	<i>6</i>
II.4. ÉCOULEMENT RESULTANT DE LA RUPTURE D’UN BARRAGE	6
<i>II.4.1. Les différentes situations de rupture pouvant survenir</i>	<i>7</i>
<i>II.4.2. La crue de rupture.....</i>	<i>8</i>
<i>II.4.3. Prédétermination du débit maximal probable à l'ouvrage.....</i>	<i>8</i>
<i>II.4.4. Modèles prévisionnels</i>	<i>11</i>
<i>II.4.5. Méthodes de calcul en conditions normales.....</i>	<i>12</i>
<i>II.4.6. Prédiction de la propagation de l’onde de rupture dans le réseau hydraulique</i>	<i>14</i>
<i>II.4.7. Modèles de calcul de la propagation de l’onde de rupture</i>	<i>16</i>
CHAPITRE. III. MISE EN EQUATION DU PHENOMENE DE RUPTURE DE BARRAGES ET DE PROPAGATION DES ONDES DE CRUES	17
III.1. EQUATION DE CONSERVATION DE LA MASSE	17
III.2. EQUATION DE SAINT VENANT	19
III.3. EQUATION DE CONSERVATION DE LA MASSE A SURFACE LIBRE.....	23
<i>III.3.1. Différentes formes de l’équation de la conservation de la masse</i>	<i>24</i>
<i>III.3.1.1. Prise en compte de la vitesse</i>	<i>24</i>
<i>III.3.1.2. Prise en compte de y et L :</i>	<i>24</i>
<i>III.3.1.3. Prise en compte de la célérité de l’onde</i>	<i>24</i>
III.4. EQUATION DE SAINT VENANT A SURFACE LIBRE.....	25
<i>III.4.1. Introduction du débit pour l’écriture de l’équation de Saint Venant</i>	<i>28</i>
CHAPITRE. IV. METHODES NUMERIQUES DE RESOLUTION DU SYSTEME DE SAINT VENANT	30
IV.1. INTRODUCTION.....	30
IV.2. METHODE DES CARACTERISTIQUES	30
IV.3. EQUATIONS DIFFERENTIELLES DES CARACTERISTIQUES ET LES REGIMES D’ÉCOULEMENT	39
IV.4. EQUATIONS DIFFERENTIELLES DES CARACTERISTIQUES ET CELERITE.....	40
IV.5. LA PRISE EN COMPTE DES CONDITIONS AUX LIMITES	46
IV.6. RUPTURE DE BARRAGE ET SCHEMA DE LAX	47
<i>IV.6.1. Discrétisation du domaine</i>	<i>47</i>

IV.6.1.1. Discrétisation en espace.....	48
IV.6.1.2. Discrétisation en temps.....	49
IV.6.2. Conditions à l'extrémité amont	49
IV.6.3. Conditions a la limite aval	50
IV.6.4. Stabilité du schéma	50
CHAPITRE. V. APPLICATION ET CONCLUSION GENERALE	51
V.1. PRESENTATION DU PROGRAMME DE CALCUL	51
V.1.1. Introduction	51
V.1.2. Structure du programme de calcul.....	52
V.1.2.1. Organigramme du programme de calcul	52
V.1.2.2. Sous programme pour le calcul de débit entrant.....	53
V.1.2.3. Sous programme pour la limite amont	53
V.1.2.4. Sous programme pour la limite aval.....	54
V.1.2.5. Sous programme pour les points intérieurs	54
V.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	55
V.2.1. Barrage de Boukerdoune	55
V.2.1.1. Situation géographique du barrage	55
V.2.1.2. Situation géologique du site du barrage	55
V.2.1.3. Situation hydrogéologique	55
V.2.1.4. Sismicité	55
V.2.1.5. Caractéristiques générales du barrage.....	56
V.2.2. Caractéristique du canal	56
V.3. DEBIT MAXIMAL A L'INSTANT DE RUPTURE	56
V.4. RESULTATS	57
V.4.1. Interprétation des résultats.....	67
V.4.2. Conclusion générale	68
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	70
ANNEXE	I

Liste des Figures

CHAPITRE. III. MISE EN EQUATION DU PHENOMENE DE RUPTURE DE BARRAGES ET DE PROPAGATION DES ONDES DE CRUE

Figure 3. 1 Equation de saint venant	19
Figure 3. 1 Equation de Saint venant a surface libre	26

CHAPITRE. IV. METHODES NUMERIQUES DE RESOLUTION DU SYSTEME DE SAINT VENANT

Figure 4. 2 Méthode des caractéristiques pour un écoulement à surface libre	31
Figure 4. 2. Les courbes caractéristiques positives et négatives	39
Figure 4. 2 Principe de résolution avec la méthode des caractéristiques	41
Figure 4. 2 Schéma de discrétisation des équations de Saint Venant	43

CHAPITRE. V. APPLICATION ET CONCLUSION GENERALE

Figure 5. 1 Variation de la hauteur au pied du barrage.	57
Figure 5. 2 Variation du débit au pied du barrage.	57
Figure 5. 3 Variation de la vitesse au pied du barrage.	57
Figure 5. 4 Variation de la célérité au pied du barrage.	57
Figure 5. 5 Variation de la hauteur à $x = 7368.645$ m du barrage.	58
Figure 5. 6 Variation du débit à $x = 7368.645$ m du barrage.	58
Figure 5. 7 Variation de la vitesse à $x = 7368.645$ m du barrage.	58
Figure 5. 8 Variation de la célérité de l'onde de rupture à $x = 7368.645$ m du barrage.	58
Figure 5. 9 Variation de la hauteur à $x = 14737.29$ m du barrage.	59
Figure 5. 10 Variation du débit à $x = 14737.29$ m du barrage.	59
Figure 5. 11 Variation de la vitesse à $x = 14737.29$ m du barrage.	59
Figure 5. 12 Variation de la célérité à $x = 14737.29$ m du barrage.	59
Figure 5. 13 Variation de la hauteur à $t = 100$ s.	60
Figure 5. 14 Variation du débit à $t = 100$ s.	60
Figure 5. 15 Variation de la vitesse à $t = 100$ s.	60
Figure 5. 16 Variation de la célérité à $t = 100$ s.	60
Figure 5. 17 Variation de la hauteur à $t = 5000$ s.	61
Figure 5. 18 Variation du débit à $t = 5000$ s.	61
Figure 5. 19 Variation de la vitesse à $t = 5000$ s.	61
Figure 5. 20 Variation de la célérité à $t = 5000$ s.	61
Figure 5. 21 Variation de la hauteur à $t = 12500$ s.	62
Figure 5. 22 Variation du débit à $t = 12500$ s.	62
Figure 5. 23 Variation de la vitesse à $t = 12500$ s.	62
Figure 5. 24 Variation de la célérité à $t = 12500$ s.	62
Figure 5. 25 Influence de n sur y à $x = 7368.645$ m.	63
Figure 5. 26 Influence de n sur la vitesse à $x = 7368.645$ m.	63

Figure 5. 27 Influence de n sur la célérité $x = 7368.645$ m	63
Figure 5. 28 Influence de la hauteur de remplissage sur la hauteur d'eau $x = 7368.645$ m.	64
Figure 5. 29 Influence de la hauteur de remplissage sur le débit $x = 7368.645$ m.	64
Figure 5. 30 Influence de la hauteur de remplissage sur la vitesse $x = 7368.645$ m.	64
Figure 5. 31 Influence de la hauteur de remplissage sur la célérité $x = 7368.645$ m.	64
Figure 5. 32 Influence de la pente sur la hauteur d'eau $x = 7368.645$ m.	65
Figure 5. 33 Influence de la pente sur le débit $x = 7368.645$ m.	65
Figure 5. 34 Influence de la pente sur la vitesse $x = 7368.645$ m.	65
Figure 5. 35 Influence de la pente sur la célérité $x = 7368.645$ m	65
Figure 5. 36 Atténuation de la hauteur d'eau.	66
Figure 5. 37 Atténuation des débits.	66
Figure 5. 38 Atténuation de la vitesse d'écoulement.	66
Figure 5. 39 Atténuation de la célérité de l'onde de rupture.	66

LISTE DES ABREVIATIONS

Nous donnons ci-dessous les principales notations utilisées dans ce mémoire :

- **Lettres Latines**

<i>Symbole</i>	<i>Description</i>
A	Surface au miroir du réservoir (m^2)
B	Largeur moyenne de la brèche en pieds (m)
b_i	Largeur instantanée de la base de la brèche (m)
C	Coefficient de Chézy
C'	Coefficient égal a $23.4 \cdot \frac{A}{B}$
C^+	Caractéristique positive
C^-	Caractéristique négative
C_d	Coefficient de débit
C_f	Coefficient de frottement
c	Célérité des ondes
c_v	Coefficient de correction de vitesses
d	Profondeur de l'ouvrage (m)
dx	Dérivée de l'espace
dt	Dérivée du temps
dv	Dérivées du volume
D_H	Diamètre hydraulique
E	Coefficient d'érodabilité
$\vec{e}_1$	vecteur unitaire colinéaire a la vitesse moyenne
F	Nombre de Froude
$\vec{F}_e$	Forces extérieures
$\vec{F}_{ed}$	Forces extérieures à distance
$\vec{F}_{ec}$	Forces extérieures de contacte
$\vec{F}_f$	Forces de frottement
J	Perte de charge unitaire
H	Hauteur du barrage (m)
H_0	Profondeur initiale d'eau en amont (m)
$\bar{H}$	Charge hydraulique moyenne
H_s	Hauteur spécifique provienne du volume de la retenue (m^3)

H_b	Hauteur du fond de la brèche (m)
h_t	Hauteur instantanée de l'eau dans le bief d'aval (m)
h_e	Hauteur du centre de l'air d'érosion interne (m)
$\bar{h}$	Hauteur du contrôle de débit (m)
h_G	Hauteur du centre de gravité de la section mouillée
J_f	Pente du canal
$[I]$	Matrice carrée
g	Accélération de la pesanteur
k_{str}	Coefficient de Strickler
n	Coefficient de Manning
K_0	Coefficient égale à 1 pour une rupture par submersion et égale à 0.7 pour une rupture par érosion interne.
K_s	Coefficient de correction de submergence possible
L_E	Largeur constante de l'ouvrage s'effaçant (m)
$L(x,t)$	Largeur au miroir
M	Masse liquide
i, j	Entiers
$\vec{n}$	Vecteur unitaire
n_e	Exposant d'érodabilité
P	Force de pression
p^*	Pression relative
Q	Débit massique (m^3 / s)
Q_{max}	Débit maximal à la brèche (m^3 / s)
Q_b	Débit d'eau à la brèche (m^3 / s)
$q(x)$	Débit unitaire
R_h	Rayon hydraulique
S	Section transversale droite de l'écoulement (m^2)
T	Temps pour atteindre le débit de pointe (<i>heure</i>)
T'	Durée de formation de la brèche (<i>heure</i>)
t	temps
U	Vitesse moyenne d'écoulement m^2 / s
$\bar{U}$	Vitesse moyenne de l'écoulement (m/s)
V	Volume de la retenue (m^3)
$\bar{V}$	Composante scalaire de la vitesse d'apport
x	Abscisse curviligne de l'écoulement
y	Tirant d'eau
y_m	Tirant d'eau moyen
Z	Elévation du fond de la brèche (m)
z	Pentes des parois de la brèche

Δt	Pas de temps
Δx	Pas d'espace

• Lettres grecques

<i>Symboles</i>	<i>Descriptions</i>
ρ	Masse volumique de l'eau
δ	Poids volumique
$\vec{\lambda}$	Quantité de mouvement
ξ	Surface frontière du volume de contrôle
τ_0	Contrainte tangentielle
χ	Périmètre mouillé
α_1	Coefficient du non uniformité de répartition des vitesses
α_2	Coefficient de l'évaluation de la turbulence

• Abréviations

PHR	Plan horizontal de référence
PHE	Niveau des plus hautes eaux

CHAPITRE I

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE. I. INTRODUCTION GENERALE

Les crues qui sont des phénomènes exceptionnels, naturels ou artificiels se caractérisent par des montées brusques des niveaux d'eau et par des débordements des cours d'eau. L'origine de la montée des eaux peut être due soit à un épisode pluvial sur l'ensemble d'un bassin versant, soit encore à une rupture progressive ou instantanée d'un barrage. Dans ce mémoire nous nous intéressons tout particulièrement au domaine des ondes induites par la rupture instantanée d'un barrage.

Une telle étude est très importante vue la concentration des activités humaines à proximité des fleuves et rivières se qui nécessite la prise en charge des problèmes posés par les crues induites dans le cas d'une rupture brutale de barrage, pour la sûreté de l'ouvrage et des canaux contre les déformations ainsi que la sécurité des biens et des personnes habitant à l'aval. Ces ondes ainsi produites, et comme le montre l'expérience, se comportent dans un premier temps comme des ondes dynamiques par l'effet prépondérant de l'inertie, puis comme une onde de continuité, à mesure que l'inondation s'atténue en évoluant vers l'aval.

La détermination de la propagation des ondes résultant de la rupture doit donc permettre de prévoir en temps réel leur évolution à partir des données enregistrées en amont pour pouvoir prendre des mesures de protection appropriées contre ces crues.

L'approche la plus précise du phénomène de propagation des ondes de rupture et qui demande le moins d'informations relatives aux crues, repose sur la modélisation numérique des équations de Saint Venant. Ces équations décrivant les écoulements instationnaires dans les canaux à surface libre constituent un système d'équations aux dérivées partielles non linéaires de type hyperbolique.

Par suite de leur complexité mathématique, l'intégration exacte de ces équations dans le cas d'un écoulement instationnaire est pratiquement impossible, sauf dans quelques situations idéalisées. La présence des ressauts hydrauliques et des obstacles dans des écoulements transitoires rend le problème encore plus difficile.

La résolution numérique du système d'équations aux dérivées partielles de Saint-Venant permettant leurs traitements informatiques pour des cours d'eau naturels, a été d'abord abordée en utilisant la méthode des caractéristiques développée par Massau (1889), la méthode des différences finies par Abbott (1979). Ensuite des méthodes plus complexes ont été adaptées tel que la méthode d'éléments finis par Brebbia et Connor (1976) et la méthode des volumes finis par

Hirsch 1997 qui présente une grande capacité de reproduire des solutions numériques discontinues.

Une autre gamme de méthodes de résolution des problèmes de Riemann existe, comme la méthode de Godunov (1959), la méthode des vecteurs de Flux par Steger et Warming (1981) ou Riemann Approximatif Solvers par Harten et al (1983).

Il est clair que la description d'eau peu profonde de l'écoulement ne s'adapte pas vraiment dans le cas où la courbure des lignes de courants est significative, qui peut arriver dans les ondes induites par une rupture instantanée de barrage. Par exemple, le champ de vitesse dans la région proche du barrage est complexe, avec des composantes verticales de vitesse importantes. Mais de telles caractéristiques sont heureusement limitées dans le temps et dans l'espace et leur influence sur le comportement des champs lointain de l'écoulement est relativement faible.

Ce mémoire est organisé comme suit, la tentative est faite pour présenter d'une façon claire le contexte théorique qui est à la base de la modélisation de l'écoulement transitoire. Les équations d'eau peu profondes de Saint-Venant pour leur justesse et les suppositions ci-jointes sont d'abord rappelées.

Ce mémoire se veut aussi une contribution par les méthodes qu'il propose à une meilleure appréciation du danger que peut représenter la rupture d'un barrage. Afin d'analyser les risques qui peuvent être induits par les barrages. On présente au deuxième chapitre certaines caractéristiques des barrages, comme nous illustrons les caractéristiques fondamentales des différents types de barrages à l'aide de quelques ouvrages originaux. Le troisième chapitre porte sur l'élaboration du modèle de Saint Venant pour un écoulement instationnaire unidimensionnel à surface libre. Le quatrième chapitre s'enchaîne sur les méthodes de résolution des équations aux dérivées partielles de Saint Venant à savoir les équations de conservation de la masse et de quantité de mouvement gouvernant le problème. Les méthodes utilisées sont respectivement les méthodes numériques des caractéristiques et de différences finies compte tenu des conditions aux frontières qui ont été fixées préalablement. Alors que le cinquième chapitre s'intéresse à l'évaluation des inondations induites par la rupture du barrage de Boukerdoune et l'interprétation des résultats obtenus par le programme de calcul élaborer en Delphi

CHAPITRE II
RUPTURE DE BARRAGE
ET CRUES RESULTANTES

CHAPITRE. II. RUPTURE DE BARRAGE ET CRUES RESULTANTES

II.1. Les barrages à travers l'histoire

Des cours d'eau et des rivières ont été modifiés, au cours de l'histoire de l'humanité, pour satisfaire les besoins de l'homme. Les nombreux barrages et digues construits en travers de ces cours d'eau en sont témoins. D'ailleurs ceux-ci ne cessent de se multiplier, leur effectif devient de plus en plus importants [1] passant de 5000 en 1949 pour atteindre près de 45000, répartis entre 140 pays, à la fin du vingtième siècle.

Les barrages, de par leurs rôles et leurs fonctions sont conçus à des fins [2] d'irrigation 48.6%, de la production d'énergie hydroélectrique 17.4%, d'approvisionnement en eau 12.7 %, de contrôle des crues 10%, de loisirs 5.3%, et de navigation et pisciculture 0.6%. Outre cela ils accroissent l'utilisation potentielle des cours d'eau.

Le nombre de grands barrages à travers le monde ne cesse de croître. Leurs capacités techniques et les dispositions constructives sont en évolution permanente. Les projets d'ampleur se multiplient de façon très rapide comme le barrage des Trois Gorges en Chine qui devra assurer l'irrigation des terres, la lutte contre les crues (inondations de 1998), et la production d'énergie. D'impressionnantes retenues de plusieurs milliards de mètres cubes d'eau ont pu être réalisées grâce au génie de l'homme tel que Saad el Ali en Egypte qui retient Lac Nasser de 5000 km² et de 157 km³ [3].

L'accroissement rapide de la population mondiale implique nécessairement une augmentation supplémentaire de la demande en eau, en irrigation et en énergie. Pour répondre à ces nouveaux besoins, d'autres projets de construction de barrages de plus grande envergure sont en cours.

II.2. Types de barrages

Les principaux paramètres à prendre en compte dans le choix des sites et du type de barrages en vue d'une mobilisation et d'une gestion optimale des ressources hydrauliques sont les suivants :

- la topographie et les apports du bassin versant ;
- la morphologie de la vallée ;
- les conditions géologiques et géotechniques ;
- le contexte météorologique et le régime des crues.

Les matériaux, les modes de résistance à la poussée de l'eau, et les techniques de construction de barrages sont nombreux. Il en résulte par conséquent un ensemble d'ouvrages variés, mais qui se prêtent à une classification simple et, par ailleurs, importante en matière de sécurité.

Les digues et les barrages peuvent être composés des mêmes matériaux. Ils ont les mêmes fonctions de base : résister à la poussée hydrostatique et aux autres aléas naturels tels que les séismes,

les crues et assurer l'étanchéité de la retenue. Deux groupes de barrages sont en œuvre: les barrages en béton et les barrages en terre.

II.2.1. Barrages poids en béton

Les barrages rigides en béton sont construits selon les principes de la résistance des matériaux et la théorie d'élasticité. [4] Le plus souvent ces ouvrages sont réalisés en béton conventionnel vibré. L'emploi du BCR pourrait être envisagé dès que le volume du barrage dépasse $40\,000\text{ m}^3$. Le type le plus ancien des barrages rigides est le barrage poids, appelé ainsi parce qu'il oppose son poids à la poussée des eaux. Il peut être simple, de profil triangulaire, précontraint en faisant participer des tirants d'acier à la reprise des charges, évidé lorsqu'on ménage des vides dans son profil ou mobile lorsqu'une grande partie du parement amont est constituée de vannes qui transmettent la pression de l'eau sur des piles et au radier de l'ouvrage.

Les reliefs accidentés ont permis le développement, d'ouvrages plus élancés, les barrages voûtes, dont la forme reporte les efforts dus à la pression de l'eau sur les rives. On exploite de plus en plus les avantages d'une double courbure.

Un troisième type de barrage rigide, le barrage à contreforts, fait appel aux deux principes précédents de reprise des charges. Ses éléments, soigneusement adaptés au terrain, lui permettent d'équilibrer la poussée des eaux par leur poids et par le report des charges sur le terrain en aval.

II.2.2. Barrages en remblai

Les barrages en remblai sont d'un comportement plus souple sous la charge hydraulique. Comme leurs constructions sont en terre ou en enrochement, ces barrages peuvent atteindre des dimensions importantes grâce aux progrès de la mécanique des sols et de la géotechnique, largement utilisées dans leur conception. Ils peuvent avoir des techniques très différentes, homogène ou à noyau d'étanchéité, à masque amont et à drain aval. [4] Sur le plan de la conception du remblai, trois points méritent, cependant, de faire l'objet d'une attention particulière :

- **L'étanchéité de la fondation** : les couches d'altération de surface, souvent épaisses et hétérogènes, peuvent être très perméables (argiles à canaux).
- **La protection du remblai** : pas toujours facile à concevoir du fait de la carence des matériaux grossiers.
- **L'évacuateur de crue** : est fondamental pour un remblai ne supportant pas, la surverse ou les affouillements et qui devient, le facteur technico-économique prépondérant dès que la surface interceptée est importante. [5] Plusieurs types d'ouvrages d'évacuation dits fusibles sont mis en place depuis peu. Leur fonction consiste en effet, à se rompre lorsque la crue devient trop importante et à limiter les conséquences du dépassement de capacité.

Les barrages sont souvent construits selon des règles très strictes et sont sujets à une surveillance et un entretien réguliers. Les 4/5 des barrages du parc mondial, selon les dernières statistiques auront franchit le cap des 50 ans d'ici peu de temps. De ce fait, ces barrages auront vu leur niveau de risque de rupture augmenter.

II.3. Rupture de barrage

Une rupture de barrage est définie comme étant une destruction totale ou partielle de l'ouvrage, de ses appuis ou de ses fondations le rendant complètement inopérant.

Les constructions hydrauliques peuvent subir des accidents de rupture plus ou moins graves. Le milieu naturel étant, d'une part, difficile à déterminer, les crues et les séismes qui sont des phénomènes aléatoires rendent difficile l'appréciation de leurs intensités extrêmes possibles sur la durée de vie des ouvrages. D'autre part, les connaissances et les matériaux intervenant dans la construction des ouvrages demeurent imparfaits, malgré les progrès technologiques rapides en matière de conception et de réalisation de ces ouvrages survenus ces dernières décennies. Pour toutes ces raisons, il est facile de comprendre comment il y a eu ce nombre important de ruptures d'ouvrages et admettre aussi qu'il y en aura d'autres dans le futur.

Le nombre de ruptures de barrage depuis les premières constructions se chiffre en milliers de cas. Les données les plus récentes indiquent que le nombre de ruptures de grands barrages est en moyenne de 1,5/an.

Ces ruptures peuvent avoir **des conséquences imprévisibles qui se résument en milliers pertes de vies humaines depuis le début du siècle passé, ainsi que des pertes économiques considérables et des destructions marquantes.**

II.3.1. Causes de rupture des barrages

Le phénomène de rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale d'un barrage .Parmi toutes les causes de rupture les plus connues, on cite singulièrement celles-ci :

- **Techniques** : défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des eaux, vices de conception, de construction ou de matériaux, vieillissement des installations ;
- **Naturelles** : séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain (soit de l'ouvrage lui-même, soit des terrains entourant la retenue et provoquant un déversement sur le barrage) ;
- **Humaines** : insuffisance des études préalables et du contrôle d'exécution, erreurs d'exploitation, de surveillance et d'entretien, malveillance.

Une rupture de barrage entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau d'eau à l'aval.

II.3.2. Fiabilité des structures hydrauliques

Pour éliminer les risques de ruptures des barrages d'importants efforts sont fournis par les scientifiques et chercheurs pour mettre au point des méthodes de calcul de la propagation des crues de rupture plus fiables. L'aboutissement de ces efforts étant presque acquis du moment la technologie numérique et les techniques diverses assistées par ordinateur y suivent.

Le parc mondial des grands barrages est en nette expansion et son évolution se poursuivra, de façon exponentielle sous la pression des besoins en eau et en énergie, surtout sur les continents en émergence telle que l'Asie et l'Afrique, là où peu de sites sont exploités et où les populations augmentent rapidement. Les capacités techniques nouvellement acquises soutiennent cette évolution. Elles permettent de réaliser des projets plus audacieux, souvent avec des retenues gigantesques.

Malgré que les statistiques montrent que la probabilité de rupture des barrages de tout type diminue, des cas de ruptures catastrophiques dans plusieurs pays ont quand même eu lieu et le risque résiduel (de rupture) persiste toujours.

La sécurité des barrages est le fruit d'une étude technique plus exigeante que leur conception, leur construction ou leur exploitation. Celles-ci ne peuvent être dissociées les unes des autres. L'accroissement de cette sécurité est un objectif difficile à atteindre puisque le nombre de barrages augmente et, par conséquent, le niveau des conséquences de leur rupture aussi. Cependant il est nécessaire d'atteindre ce but par ce qu'autant de vies sont menacées. A cela s'ajoute le danger des barrages qui sont perçu comme un facteur négatif au même titre que les inondations, la modification du cycle naturel des rivières, l'altération de la qualité des eaux, et autres.

II.4. Écoulement résultant de la rupture d'un barrage

Après la rupture, l'eau du réservoir s'écoule librement et une onde se propage avec une célérité donnée le long de la vallée en aval. Des écoulements beaucoup plus importants que ceux des crues naturelles et des inondations atteindront des zones beaucoup plus vastes. La montée des crues s'opère de façon brutale. La puissance des écoulements résultant s'accompagne d'érosions plus intenses, de modifications majeures de la forme du lit et de destructions d'éventuelles infrastructures (ponts, prises d'eau, etc.).

Le barrage étant un moyen d'écêtement des crues mais celui-ci peut engendrer une probable crue de rupture dont la définition dans le cadre des mesures de sécurité et de protection des populations est primordiale.

Le calcul des écoulements résultants d'une crue engendrée par une rupture de barrage est une phase essentielle de la démarche. Il est fonction d'un certain nombre de paramètres hydrodynamiques.

Le calcul des écoulements de rupture d'un barrage est problématique car il s'appuie sur l'expérience du comportement naturel du bassin versant et sur une évaluation optimale de la gestion hydrique qui permet de l'exploiter.

Les cas de rupture de barrage ainsi que leurs évaluations nécessitent souvent plusieurs ensembles de calcul. Dans chaque cas, on doit préciser le contexte s'y rattachant. Puis, compte tenu de ce contexte, on procédera pour chaque cas à l'évaluation du développement de la crue à l'ouvrage, et on en étudiera les conséquences pour la vallée réceptrice.

II.4.1. Les différentes situations de rupture pouvant survenir

Les résultats des études de rupture servent en général aux études de sécurité des barrages. Contrairement aux études de conception ou d'impact courantes en hydraulique, les études de rupture portent souvent sur des **situations probables** dont la réalisation est extrêmement faible, d'autant plus que chacune s'appuie sur un contexte et de multiples conditions très précises.

Les schémas caractéristiques qui doivent être retenus serviront de modèles non seulement de reproduction de toutes les causes de rupture, mais aussi, comme bases de données sur toutes les possibilités de rupture.

Deux concepts sont à définir avant de s'attaquer au problème de ruptures en situation de crues, souvent lié à la faible capacité du réservoir qui sont la crue de première rupture et les conséquences différentielles y afférentes.

La crue de première rupture d'un aménagement est une crue dont l'hydrogramme des apports introduits au réservoir et laminés par celui-ci conduit à l'atteinte de la première condition de rupture sur l'un des ouvrages de l'aménagement.

On appelle conséquences différentielles de rupture l'augmentation des conséquences engendrées par la rupture par rapport aux conséquences qu'aurait eues la même crue dans la vallée s'il n'y avait pas de barrage.

Les **schémas de rupture** sont déterminés par **laminage des crues** exceptionnelles à travers la retenue. Les hydrogrammes des crues probables sont donnés par les calculs hydrologiques effectués préalablement. Le laminage des crues à travers les digues permet d'établir la crue de première rupture. Le premier schéma de rupture à considérer donc est celui d'une crue supérieure à **la crue de première rupture**, par le fait d'abord, que cette crue est celle qui causera les plus forts dommages différentiels en aval; en outre, dans un calcul de risque conventionnel, elle aura la probabilité qui contribuera le plus au risque total de rupture. Ensuite on s'intéressera aux écoulements de la crue naturelle combinée à la rupture le long de la vallée jusqu'en un point où ces écoulements se seront atténués.

II.4.2. La crue de rupture

L'onde de rupture prend forme au pied aval de l'ouvrage même. Les caractéristiques de l'ouvrage, son mode de rupture et les conditions d'apports hydrologiques sont les principaux facteurs déterminants de cette onde. Dans le cas d'un scénario d'apports moyens, l'onde générée par la rupture se déplace comme une crue modifiant brutalement le régime permanent du cours d'eau en aval et comme une onde négative de vidange remontant la retenue. Par ailleurs, dans la condition de crues maximales, l'onde vient se superposer aux écoulements déjà présents. Les débits générés ainsi par la rupture peuvent affecter significativement le profil du canal en aval.

L'analyse des causes de rupture les plus répandues permet d'associer aux ouvrages en terre des modes de rupture progressifs par rapport aux ouvrages en béton. Les relations de rupture observées montrent que les remblais se rompent par submersion et érosion de la crête et du parement aval, ou par érosion interne dans le corps de l'ouvrage ou dans sa fondation. Les deux modes supposent l'érosion progressive et l'entraînement des éléments constituant l'ouvrage par l'écoulement.

Les phénomènes les plus courants liés à la rupture des ouvrages en béton sont le glissement et le renversement pour les barrages poids et la perte d'appui ou de fondation pour les barrages voûtes. La rupture d'un barrage en béton provoque un déplacement en bloc d'une partie de l'ouvrage dont l'inertie limite le développement et la vitesse. Le débit de fuite résultant est inhérent à un processus d'ouverture de l'ouvrage continu et partiellement limité par la présence des résidus de cet ouvrage. Par contre, la rupture de digues d'épaisseurs minces ressemble plus à une rupture brutale libérant instantanément un mur d'eau de la hauteur de la retenue.

Le débit passant à travers le barrage durant la rupture peut être déterminé à chaque instant si l'on connaît la forme de la brèche. Par conséquent, le calcul par les formules hydrauliques usuelles d'un hydrogramme résultant de la crue de rupture dépend des connaissances disponibles sur les phénomènes générateurs tels que les séismes, les crues ou autres, leurs multiples formes de développement et les caractéristiques des matériaux utilisés (résistance, uniformité, mise en place, dégradations locales).

À partir des données déduites des ruptures observées, l'ordre de grandeur des écoulements résultants de ces ruptures peut être approximativement estimé.

II.4.3. Prédétermination du débit maximal probable à l'ouvrage

Pour la prédétermination du [6] débit de rupture maximal possible, Ritter, en supposant une retenue infinie et une rupture instantanée, donne une première estimation du débit maximal pour une forme rectangulaire :

$$Q_{\max} = 0.9^2 L H_0^{1.5} \quad (2.1)$$

Où :

L : Largeur constante de l'ouvrage s'effaçant

H_0 : Profondeur initiale d'eau en amont

D'autres travaux font intervenir le rôle constant joué par la hauteur du barrage, et le volume de la retenue. Les formules empiriques établies donnent une estimation de $Q_{\max}$ de l'hydrogramme de rupture au pied du barrage, et de prédire aussi le temps nécessaire pour atteindre ce débit et indiquent donc quelque peu la forme de l'hydrogramme.

Formule de Costa :

$$Q_{\max} = 325 \left(H \cdot \frac{V}{10^6} \right)^{0.42} \quad (2.2)$$

Formule de Molinaro :

$$Q_{\max} = 0.116 (gH)^{0.5} \cdot H^2 \cdot \left(\frac{V}{H^3} \right)^{0.22} \quad (2.3)$$

Formule de Lempérière :

$$Q_{\max} = 0.7 \cdot \sqrt{gH} \cdot H^2 \sqrt{\frac{V}{H^3}} \quad (2.4)$$

Le temps requis pour atteindre $Q_{\max}$ est donné par cette équation :

$$T = 10 \frac{V^{0.5}}{g^{0.5}} \cdot H \quad (2.5)$$

Le processus du développement géométrique de la brèche serait dû, à une érosion interne ou une érosion de crête, la forme de la brèche provoquée par la rupture s'apparente à un seuil de forme triangulaire ou trapézoïdal de largeur moyenne, B s'exprimant ainsi (Froehlich, 1987):

$$B = 9.5 K_0 (V \cdot H)^{0.25} \quad (2.6)$$

Dont le développement en un temps T est donné par l'équation suivante :

$$T = 0.59 \cdot V^{0.47} \cdot H^{0.9} \quad (2.7)$$

Où :

B : Largeur moyenne de la brèche (m).

T : Durée de la formation de la brèche (s).

V : Volume d'eau de la retenue (m^3).

H : Hauteur d'eau de la retenue (m).

K_0 : Coefficient égal à 1 pour une rupture par submersion et 0,7 pour une rupture par érosion interne.

D'où il vient :

$$Q_{\max} = 3.1B \frac{C}{T + \frac{C}{\sqrt{H}}} \quad (2.8)$$

Dans cette équation on définit C comme suit :

$$C = 23.4 \cdot \frac{A}{B} \quad (2.9)$$

A : La surface au miroir du réservoir au sommet du barrage.

Comme il est aussi possible de projeter une autre forme de l'hydrogramme de rupture plus réaliste en utilisant une loi de débit d'un seuil épais et en supposant une croissance linéaire de la brèche dans le temps.

Singh en se penchant sur les formes des brèches fait ressortir l'importance des rapports

$\frac{H_s}{H_0}$ et $\frac{H_s}{B_m}$, dans lesquels H_s provient du volume de la retenue :

$$H_s = V^{0.33} \quad (2.10)$$

Où :

H_s : Hauteur de l'ouvrage.

B_m : Largeur moyenne de la brèche.

On en déduit trois relations utiles. La première porte sur l'aspect de la brèche (rapport de sa largeur B au sommet de l'ouvrage à sa profondeur d) :

$$\frac{B}{d} = 0.4 \frac{H_s}{H} \quad (2.11)$$

La deuxième donne le débit maximal de rupture :

$$\frac{Q_{\max}}{(g \cdot B_m^2 \cdot H^3)^{0.5}} = 0.0125 \frac{H_s}{H} \quad (2.12)$$

La troisième donne la durée de la formation de la brèche :

$$T \cdot \left(\frac{g}{H} \right)^{0.5} = 1.5 \frac{H_s}{B_m} \quad (2.13)$$

Outre cela, les travaux de Singh ont pu mettre en lumière un rapport fréquemment observé entre les largeurs de brèche au sommet et au fond. Ce rapport se situe autour de 1,29. La validité de ces

formules n'est valable que pour des barrages de plus de 8 m de hauteur et ayant subi une rupture.

Pour une [7] rupture instantanée l'ajustement d'une forme simple de la section prise en compte par la rupture, permet d'obtenir l'estimation de $Q_{\max}$ au droit du barrage comme suit :

Pour une forme triangulaire :

$$Q_{\max} = 0.72mH_0^{5/2} \quad (2.14)$$

Pour une forme trapézoïdale :

$$Q_{\max} = 0.93LH_0^{3/2} + 0.72mH_0^{5/2} \quad (2.15)$$

Pour une forme parabolique :

$$Q_{\max} = 0.54kH_0^2 \quad (2.16)$$

Où :

m : Paramètre de forme ($m = 1.4$ retenue compacte ; $m = 1$ retenue normale ; $m = 0.6$ retenue allongée).

II.4.4. Modèles prévisionnels

Les contributions importantes portant sur la formation des brèches de déversement, basées sur des approches plus représentatives des mécanismes observés, qui ont été étudiées par Christofano et al. Ont été résumé par Zerrouk [8]. L'ajustement des modèles pour la reproduction d'une situation déjà connue est possible, cependant, pour une plus grande sécurité des ouvrages il est plus édifiant de comparer entre les capacités de prédiction de chacun de ces modèles.

Parmi les modèles de développement d'une brèche par sur verse celui de Singh représente une synthèse des progrès récents dans ce domaine. Il se fonde sur deux équations, l'une reproduisant le débit d'eau à la brèche :

$$A \cdot \frac{dH}{dt} = Q_b \quad (2.17)$$

L'autre, l'approfondissement par érosion de celle-ci :

$$\frac{Dz}{dt} = -E \cdot U^n \quad (2.18)$$

Où :

A : Surface au miroir de la retenue, où $A = f(H)$.

z : Élévation du fond de la brèche.

E : Coefficient d'érodibilité.

U : Vitesse moyenne d'écoulement à travers la brèche.

n : Exposant d'érodibilité.

Le débit de la brèche peut être calculé à tout instant, en considérant la brèche comme un seuil épais en régime permanent, par cette équation :

$$Q_b = US = (2g \cdot C_d^2 \cdot (H - z))^{0.5} \quad (2.19)$$

Où :

C_d : Coefficient de débit.

L'équation différentielle de l'évolution du plan d'eau H , à la cote de fond de brèche z et au débit de brèche $Q_b(T)$, peut être obtenue après plusieurs simplifications, en fonction des valeurs des coefficients E , n et C_d . Quelque soit la forme de la brèche, on peut procéder à une solution itérative; les valeurs de E , n sont choisies en comparant les résultats des équations aux dérivées partielles et ceux des équations différentielles. Différentes études montrent que le modèle d'érosion linéaire ($n = 1$) se comporte mieux que celui d'ordre 2 et que E y serait de l'ordre de $0.15 \cdot (H_s / H)^{-2}$.

Pour que le modèle générique donne des résultats plus représentatifs, Singh et Wahl suggèrent en conclusion de tenir compte des interactions fluide-structure ainsi que des différentes caractéristiques hydrodynamiques de l'écoulement.

Dans le cas, où [9] la brèche entière est considérée comme un chenal érodable, l'écoulement à travers la brèche est calculé à partir des équations de Saint Venant, tandis que l'évolution de la brèche est modélisée suivant une équation de continuité des sédiments, appelée également équation d'Exner :

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + (1 - p)\rho_s B \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (2.20)$$

avec Q_s le taux de transport sédimentaire (kg/s), p la porosité du matériel formant le lit, B la largeur moyenne du chenal, ρ_s la masse volumique du matériau solide et z l'élévation du lit.

II.4.5. Méthodes de calcul en conditions normales

La connaissance de toutes les caractéristiques de conception d'un ouvrage et la définition de la cause et du mécanisme générateur de la rupture restent insuffisants pour prédire de manière sûre l'endroit, la forme, le rythme de développement de la brèche de rupture ainsi que le débit passant par la brèche à chaque instant. L'hydrogramme résultant d'une crue de rupture ne peut être tracé par le fait que nos connaissances actuelles sur les phénomènes sismiques et de crues génératrices, leurs multiples formes de développement, de même que les incertitudes concernant les matériaux de construction (résistance, uniformité, mise en place, dégradations locales) sont très insuffisants.

Par définition les brèches de rupture sont spécifiques à chaque type d'ouvrage et aux conditions

hydrologiques de l'événement.

- Les ouvrages en terre et enrochement permettront le développement en 30 minutes, par déversement, d'une brèche trapézoïdale dont la largeur au fond sera égale à quatre fois la hauteur maximale de l'ouvrage. Les parois latérales de cette brèche seront inclinées à 45° si le terrain naturel le permet, sinon elles seront ajustées au terrain naturel. S'ils comportent un masque d'étanchéité amont, le temps de rupture pourra être augmenté.
- Les ouvrages poids en béton permettront le développement en 6 minutes d'une brèche rectangulaire, d'une largeur égale à quatre fois la hauteur mais ajustée aux joints de construction de l'ouvrage. Les ouvrages voûtes à contreforts suivront la même règle alors que la largeur de la brèche sera ajustée aux contreforts.
- Dans tous les cas, on supposera la brèche formée au centre de la partie la plus profonde de la vallée. Le fond de brèche sera abaissé si l'ouvrage est établi sur des fondations érodables et que la pente du fond de la vallée en aval est prononcée.
- Si, malgré le développement de la brèche, le déversement sur la crête des ouvrages continue pendant plusieurs heures, la largeur de la brèche normale pourra s'accroître jusqu'à atteindre la demi-longueur de l'ouvrage.
- En complément, au départ des calculs de rupture en apports hydrologiques normaux, les réservoirs sont estimés qu'ils sont à leur niveau maximal d'exploitation; les ouvrages d'évacuation sont fermés et le débit en rivière est à sa valeur module. Dans le cas d'apports hydrologiques exceptionnels, les mêmes conditions prévalent mais les évacuateurs sont ouverts. Le débit initial au droit de l'ouvrage correspondra donc à la somme des débits de rupture, d'évacuation et de turbinage, puis le débit de turbinage sera réduit à 0 en 15 minutes.

Dans le cas d'une érosion interne, il se forme un tunnel s'élargissant progressivement dans l'ouvrage et s'effondrant lorsque son diamètre est de 50 à 75 % de la hauteur de l'ouvrage. Avec les lois de Froelich équations (2.6) et équation (2.7), on peut suivre cette formation en utilisant le coefficient K_0 approprié. Plus lente que la formation de la brèche de surverse, l'érosion interne conduit habituellement à un débit maximal de la crue de rupture plus faible.

La définition pour chaque **événement de rupture** de la géométrie de l'ouverture maximale représentant le dernier développement de la brèche à l'ouvrage, qui se fait selon une méthode de calcul appropriée permet d'établir une première approximation du débit engendré à chaque ouvrage en utilisant une forme simple de **la loi d'évacuation d'un seuil trapézoïdal épais**.

$$Q_b = c_v k_s \left[3.1b_1 (h - h_b)^{1.5} + 2.45z (h - h_b)^{2.5} \right] \quad (2.21)$$

Où :

Q_b : Débit transitant par ce seuil.

c_v : Correction de vitesse d'approche.

b_i : Largeur instantanée de la base de la brèche.

h : Hauteur de l'eau en amont.

h_b : Hauteur du fond de brèche.

z : Pente des parois de brèche.

k_s : Correction de submersion possible.

La correction de la submergence s'obtient comme suit :

$$k_s = 1.0 - 27.8 \left[\frac{h_t - h_b}{h - h_b} - 0.67 \right]^3 \quad \text{si} \quad \frac{(h_t - h_b)}{(h - h_b)} > 0.67 \quad (2.22)$$

Où :

$k_s = 1.0$.

h_t : Hauteur instantanée d'eau dans le bief aval.

Si la rupture est supposée se faire par érosion interne, l'équation (2.21) est remplacée par une formule du débit par un orifice comme suit :

$$Q_b = 4.8 A_e \sqrt{h - \bar{h}} \quad (2.23)$$

Dans laquelle la surface d'érosion est :

$$A_e = 2b_i (h_p - h_b) \quad (2.24)$$

Les équations (2.23) et (2.24) font intervenir les paramètres suivants :

h_e : Hauteur du centre de la surface d'érosion interne.

$\bar{h}$: Hauteur de contrôle du débit égale à la plus élevée des valeurs instantanées, de h_e ou de h_t .

b : Largeur instantanée de la surface d'érosion.

Une extension relative suffisante de l'érosion interne dans l'ouvrage, donnée par la condition $h < 3h_e - 2h_b$ fait repasser l'écoulement d'orifice à un écoulement de seuil de même dimension. Selon cette condition, le changement se produit lorsque le niveau h de la retenue a suffisamment diminué ou lorsque la dimension de l'orifice a suffisamment augmenté.

II.4.6. Prévision de la propagation de l'onde de rupture dans le réseau hydraulique

Parmi les techniques étoffées, de prévision de la propagation des ondes de rupture dans le réseau hydraulique, on cite: les essais en nature, sur modèle réduit, les approches théoriques et les modèles

numériques, compte tenu du cours d'eau, des objectifs visés et des données disponibles.

Les modèles réduits, généralement réalisés en laboratoire, permettent, au moyen de dispositifs expérimentaux adéquats, d'acquérir plusieurs renseignements précis sur la propagation des crues de rupture. On reconnaît la validité d'un modèle réduit lorsqu'on peut le construire à partir d'une similitude de Froude à une échelle supérieure à $1/500$ et avec une très faible distorsion entre échelles verticale et horizontale. Mais, lorsqu'ils ont des dimensions raisonnables, ils ne peuvent couvrir intégralement les longueurs de vallées concernées par une rupture. Ces modèles sont donc souvent utilisés pour étudier des zones particulières c'est-à-dire à topographies très complexes par exemple où les outils numériques s'avèrent moins fiables.

Des équations fondamentales et des solutions théoriques exactes du problème de rupture de barrage ont été développées et améliorées par le passé. Ces équations restent encore utilisées de nos jours. Par contre, l'usage des solutions théoriques est de plus en plus limité en raison de l'intrusion et de la croissance rapide des capacités de traitement et de résolution numériques.

La situation actuelle met en évidence l'importance des modèles numériques dans les études de propagation de la crue de rupture. Leur capacité de prendre en compte le mode de rupture de l'ouvrage, la forme exacte du lit du canal, les affluents ainsi que les conditions aux limites les a rendus incontournables dans toutes les études de rupture de barrages.

Il faut cependant spécifier que le choix des méthodes de calcul est une étape importante pour obtenir les résultats recherchés et ce choix doit tenir compte des caractéristiques spécifiques de chaque ouvrage. Les valeurs des paramètres retenus pour définir la brèche ont un grand effet sur le débit de rupture et sur l'inondation générée à proximité du barrage. À mesure que l'on s'éloigne de la brèche et l'onde progresse vers l'aval ces valeurs faiblissent et leur influence devient moins importante. Le débit maximal de la crue de rupture se réduit par le fait des effets de la forme et de la résistance du canal, des poches de stockage et des débordements vers d'autres bassins. Il est en fait établi que les crues résultantes d'une rupture dépendent de plusieurs facteurs tels que par exemple des résistances, du laminage et des débordements. Par conséquent, avant d'opter pour une méthode de calcul donnée, il faut s'assurer que les simplifications opérées dans la méthode n'affectent pas la fiabilité des calculs. La prévision de la propagation de la crue de rupture peut être approchée, soit par les formules de régression ou par des modèles plus complets.

Le rôle des techniques et des moyens de calcul numériques dans les situations complexes comme celle des ruptures de barrages s'avère déterminant. Il faut donc nécessairement aborder le calcul de la propagation de l'onde de rupture en aval de l'ouvrage par les équations de quantité de mouvement ou équations dynamiques. Cependant, pour produire des résultats qualitatifs il faut que le nombre de

données soit assez suffisant.

II.4.7. Modèles de calcul de la propagation de l'onde de rupture

De nos jours l'utilisation des modèles unidimensionnels est la plus courante puisqu'elle satisfait aux besoins de la grande majorité des études entreprises. Les modèles bidimensionnels quand à eux permettent de compléter, de détailler ou de nuancer certains aspects traités de manière globale par les hypothèses de l'approche unidimensionnelle. Dans d'autres situations, l'emploi combiné des deux modèles constitue l'outil idéal d'analyse, à condition bien évidemment de connaître les avantages et les limites de chacun.

CHAPITRE III
MISE EN EQUATION DU PHENOMENE
DE RUPTURE ET DE PROPAGATION
D'ONDES

CHAPITRE. III. MISE EN EQUATION DU PHENOMENE DE RUPTURE DE BARRAGES ET DE PROPAGATION DES ONDES DE CRUES

Les crues de rupture de barrage sont des écoulements à surface libre, non permanents, non uniformes à composantes principales horizontales. Les équations de Saint-Venant décrivent leur passage et leur transformation à travers les différentes sections du canal. La formulation de Saint-Venant est écrite sous la forme d'un système de deux équations, l'une représentant la conservation de la masse du fluide, l'autre, la conservation de sa quantité de mouvement. Ces conservations supposent une **distribution verticale de la pression hydrostatique** de même que des **vitesse verticales nulles** et des **accélérations verticales faibles**. Leur validité se limite aux variations assez lentes dans l'espace et dans le temps.

On négligeant les vitesses transversales par rapport aux vitesses longitudinales ainsi que les différences de niveau d'eau transversales, ces équations intégrées sur la dimension transversale pourront se réduire à une forme unidimensionnelle ou filaire. Le calcul par la forme unidimensionnelle signifie, en pratique, qu'on simplifie d'avantage les données du calcul. La propagation de l'écoulement se fait le long du canal. Les lois de pertes de charges s'appliquent à un terme d'énergie cinétique basé sur une vitesse moyenne, donc unique en chaque section. Lorsque le lit fluvial est très sinueux le calcul introduit donc des difficultés de représentativité à faible débit mais se rectifie naturellement en crue, ou encore si des variations brusques de la largeur du canal engendrent des zones de stockage.

III.1. Equation de conservation de la masse

Dans une section transversale droite, le champ de vitesse est par définition uniforme et dépendra de l'abscisse curviligne x de l'écoulement et aussi, si l'écoulement est transitoire du temps t . Le module de cette vitesse uniforme dans une section transversale droite sera noté $\bar{U}(x, t)$. Le débit, Q est fonction de l'abscisse x et du temps t est noté :

$$Q = S\bar{U} \quad (3.1)$$

En raisonnant sur une masse de liquide notée $M(t)$ comprise entre deux sections droites d'abscisses $x_1(t)$ et $x_2(t)$. Cette masse de liquide qui sera suivie dans son mouvement s'écrit :

$$M(t) = \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \rho S dx \quad (3.2)$$

Dans cette expression nous supposons que la masse volumique est $\rho(x, t)$ et la section $S(x, t)$ afin d'obtenir une formule générale. L'équation de la conservation de la masse s'obtient si $\frac{DM}{Dt} = 0$ (la

dérivée particulaire).

En dérivant par rapport à x et t , on obtient les expressions suivantes:

$$\frac{DM}{Dt} = \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial(\rho S)}{\partial t} dx + \left[\rho S \frac{dx_2}{dx_1} \right]_{x_2} - \left[\rho S \frac{dx_1}{dx_2} \right]_{x_1} \quad (3.3)$$

L'écoulement étant supposé unidimensionnel, $\frac{dx_1}{dt}$ et $\frac{dx_2}{dt}$ représentent respectivement le module de la vitesse moyenne uniforme dans les sections d'abscisse x_1 et x_2 . Donc l'équation (3.3) devient:

$$\frac{DM}{Dt} = \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial(\rho S)}{\partial t} dx + (\rho S \bar{U})_{x_2} - (\rho S \bar{U})_{x_1} \quad (3.4)$$

Les deux derniers termes de l'expression précédente peuvent être écrit sous la forme suivante :

$$(\rho S \bar{U})_{x_2} - (\rho S \bar{U})_{x_1} = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial x} dx \quad (3.5)$$

La dérivée particulaire $\frac{DM}{Dt}$ devient donc :

$$\frac{DM}{Dt} = \int_{x_1}^{x_2} \left[\frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial x} \right] dx = 0 \quad (3.6)$$

Si le milieu est continu et l'intégrale est nulle, ceci conduit à une équation générale valable pour tout écoulements supposés unidimensionnel :

$$\frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial x} = 0 \quad (3.7)$$

Cette équation peut être utilisée dans les écoulements transitoires en charge dans lesquels le liquide est supposé compressible.

Puisque $\rho = C^{te}$ l'équation précédente devient en introduisant le débit volumique Q de l'écoulement :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.8)$$

Compte tenu des apports latéraux et des prélèvements, l'équation précédente devient :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (3.9)$$

III.2. Equation de Saint Venant

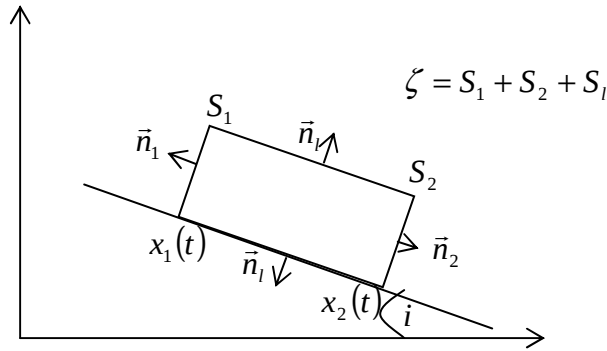


Figure 3. 1 Equation de saint venant

Si on désigne par $\vec{e}_1$ le vecteur unitaire colinéaire à la vitesse moyenne $\bar{U}$ dans une section transversale droite et orienté dans le sens de l'écoulement. Le produit scalaire $\bar{U} \cdot \vec{e}_1$ n'est alors que le module de $\bar{U}$ dans la section transversale droite.

La quantité de mouvement du liquide compris entre les deux sections droites S_1 et S_2 d'abscisses respectives $x_1(t)$ et $x_2(t)$ s'écrit :

$$\bar{\lambda}(t) = \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \rho S \bar{U} dx \quad (3.10)$$

Le principe de quantité de mouvement a pour expression générale :

$$\frac{D\bar{\lambda}}{Dt} = \vec{F}_e \quad (3.11)$$

Où :

$\vec{F}_e$: Forces extérieurs de volume et de surface.

$$\vec{F}_e = \vec{F}_{ed} + \vec{F}_{ec} \quad (3.12)$$

La force extérieure à distance $\vec{F}_{ed}$ (le poids du volume matériel en mouvement), s'écrit en utilisant la formule de transformation du gradient :

$$\begin{aligned} \vec{F}_{ed} &= \iiint_V \rho \vec{g} dv \\ &= \iiint_V \rho g \overrightarrow{\text{grad}} z dv \\ &= - \iint_S \rho g z \vec{n} d\zeta \end{aligned} \quad (3.13)$$

Les forces extérieures de contact $\vec{F}_{ec}$ sont constituées des forces de pression qui s'exercent

normalement en tout point de la surface frontière ζ et de la force de frottement qui s'exerce en tout point de la surface latérale S_l comprise entre les deux sections S_1 et S_2 . La force de frottement notée $\vec{F}_f$ est une force retardatrice qui s'oppose au mouvement et qui est dirigée suivant le vecteur unitaire $-\vec{e}_1$:

$$\vec{F}_{ec} = -\iint_{\zeta} p \vec{n} d\zeta + \vec{F}_f \quad (3.14)$$

En posant $p^* = p + \rho g z$, dans ces conditions les forces extérieures qui s'exercent sur le liquide en mouvement et sur sa surface frontière s'écrivent en utilisant une nouvelle fois la formule de transformation du gradient :

$$\begin{aligned} \vec{F}_e &= -\iint_{\zeta} (\rho g z + p) \vec{n} d\zeta + \vec{F}_f \\ &= -\iint_{\zeta} p^* \vec{n} d\zeta + \vec{F}_f \\ &= -\iiint_V \overrightarrow{\text{grad}} p^* dv + \vec{F}_f \end{aligned} \quad (3.15)$$

L'écoulement est supposé unidimensionnel, l'intégrale triple s'écrit puisque dans ces conditions l'opérateur $\overrightarrow{\text{grad}} p^*$ ne possède qu'une seule composante scalaire suivant le vecteur unitaire $\vec{e}_1$:

$$-\iiint_V \overrightarrow{\text{grad}} p^* dv = -\left[\int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial p^*}{\partial x} S dx \right] \vec{e}_1 \quad (3.16)$$

Les forces extérieures $\vec{F}_e$ s'écrivent comme suit compte tenu de la section transversale S et de l'élément de volume $dv = S dx$.

$$\vec{F}_e = \left[\int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial p^*}{\partial x} S dx \right] \vec{e}_1 - \|\vec{F}_f\| \vec{e}_1 \quad (3.17)$$

L'axiome des quantités de mouvement s'écrit :

$$\left[\frac{D}{Dt} \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \rho S \bar{U} dx \right] \vec{e}_1 = -\left[\int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial p^*}{\partial x} S dx \right] \vec{e}_1 - \|\vec{F}_f\| \vec{e}_1 \quad (3.18)$$

La composante scalaire de l'équation vectorielle précédente s'écrit :

$$\frac{D}{Dt} \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \rho S \bar{U} dx = -\int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial p^*}{\partial x} S dx - \|\vec{F}_f\| \quad (3.19)$$

La dérivée particulière de la projection suivant le mouvement de la quantité de mouvement s'écrit compte tenu du théorème de dérivation sous le signe somme dont les bornes d'intégration sont fonction du temps :

$$\frac{D}{Dt} \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \rho S \bar{U} dx = \int_{x_1(t)}^{x_2(t)} \frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial t} dx + \left[\rho S \bar{U} \frac{dx_2}{dt} \right]_{x_2} - \left[\rho S \bar{U} \frac{dx_1}{dt} \right]_{x_1} \quad (3.20)$$

Comme $\frac{dx_2}{dt}$ et $\frac{dx_1}{dt}$ sont les modules de la vitesse $\bar{U}$ dans les deux sections S_1 et S_2 et puisque $Q = S\bar{U}$, on peut écrire :

$$\begin{aligned} \left[\rho S \bar{U} \frac{dx_2}{dt} \right]_{x_2} - \left[\rho S \bar{U} \frac{dx_1}{dt} \right]_{x_1} &= (\rho S \bar{U}^2)_{x_2} - (\rho S \bar{U}^2)_{x_1} \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial(\rho S \bar{U}^2)}{\partial x} dx \\ &= \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial(\rho Q \bar{U})}{\partial x} dx \end{aligned} \quad (3.21)$$

En désignant par τ_0 la contrainte tangentielle en tout point de la surface latérale et par χ le périmètre mouillé relatif à une section transversale droite, nous pouvons écrire $-\|\vec{F}_f\|$ sous la forme suivante puisque $dS_l = \chi dx$:

$$-\|\vec{F}_f\| = -\int_{x_1}^{x_2} \tau_0 \chi dx \quad (3.22)$$

La composante scalaire suivant le mouvement relative à l'application de l'axiome des quantités de mouvement s'écrit :

$$\int_{x_1}^{x_2} \left[\frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho Q \bar{U})}{\partial x} \right] dx = -\int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial p^*}{\partial x} S dx - \int_{x_1}^{x_2} \tau_0 \chi dx \quad (3.23)$$

Comme les bornes des différentes intégrales sont les même nous écrivons alors :

$$\int_{x_1}^{x_2} \left[\frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho Q \bar{U})}{\partial x} + \frac{\partial p^*}{\partial x} S + \tau_0 \chi \right] dx = 0 \quad (3.24)$$

Si le milieu est continu. Nous pouvons appliquer dans ces conditions le théorème de l'intégrale nulle qui nous conduit à écrire l'équation locale suivante :

$$\frac{\partial(\rho S \bar{U})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho Q \bar{U})}{\partial x} + \frac{\partial p^*}{\partial x} S + \tau_0 \chi = 0 \quad (3.25)$$

En dérivant les deux premiers termes considérés comme des produits de fonctions, il vient:

$$\rho S \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial(\rho Q)}{\partial x} + \rho S \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial p^*}{\partial x} S + \tau_0 \chi = 0 \quad (3.26)$$

Si le débit latéral par unité de longueur est nul. L'équation de la conservation de la masse devient :

$$\frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho Q)}{\partial x} = 0 \quad (3.27)$$

En simplifiant l'équation locale issue de l'application de l'axiome des quantités de mouvement en mettant ρSg en facteur, celle-ci s'écrit :

$$\rho Sg \left(\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\bar{U}}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{1}{\rho g} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\tau_0 \chi}{\rho g S} \right) = 0 \quad (3.28)$$

En posant :

$$\tau_0 = \frac{1}{2} C_f \rho \bar{U}^2 \quad D_H = \frac{4S}{\chi} \quad 4C_f = \lambda$$

Et en remarquant que :

$$\frac{\bar{U}}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right)$$

L'équation issue de l'axiome des quantités de mouvement s'écrit :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^*}{\rho g} + \frac{\bar{U}^2}{2g} \right) + \frac{\lambda \bar{U}^2}{2g D_H} = 0 \quad (3.29)$$

Puisque l'écoulement est unidimensionnel, par définition, dans une section transversale droite, la répartition de la pression est hydrostatique et la pression p^* est la même en tout point de cette section.

$\frac{p^*}{\rho g} + \frac{\bar{U}^2}{2g}$, étant la charge hydraulique moyenne dans une section transversale droite.

L'expression de la charge hydraulique moyenne dans une section transversale droite est :

$$\bar{H} = \frac{\bar{p}^*}{\rho g} + (\alpha_1 + \alpha_2) \frac{\bar{U}^2}{2g} \quad (3.30)$$

Dans laquelle les coefficients adimensionnels α_1 et α_2 représentent la non uniformité de répartition des vitesses d'une part dans une section droite et, d'autre part, l'évaluation de la turbulence de l'écoulement dans la même section.

Il faut remarquer qu'en définissant un écoulement unidimensionnel par l'existence, dans une section droite, d'un champ de vitesse moyen uniformisé par l'intermédiaire de la relation :

$$Q = S \bar{U} \quad (3.1)$$

En posant $\alpha_1 = 1$ et $\alpha_2 = 0$. L'équation de Saint-Venant issue de l'axiome des quantités de mouvement et projetée dans le sens de l'écoulement s'écrit pour un écoulement unidimensionnel :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{H}}{\partial x} + J = 0 \quad (3.31)$$

La présence de la perte de charge unitaire J ainsi que de $\bar{U}$ et $\bar{H}$ montre que l'équation de Saint-Venant est adaptée aux liquides newtoniens et quelle est basée sur le point de vue d'Euler.

Pour un liquide incompressible, pesant newtonien, en écoulement unidimensionnel (x, t) , l'axiome de la conservation de la masse et l'axiome des quantités de mouvement se réduit, s'il n'y a pas d'apport de débit latéral $q_l = 0$, au système suivant :

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3.8)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{H}}{\partial x} + J = 0 \quad (3.31)$$

III.3. Equation de conservation de la masse à surface libre

Pour un liquide supposé incompressible $\rho = C^{te}$ et un écoulement unidimensionnel (x, t) . L'équation de la conservation de la masse s'écrit :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = q(x) \quad (3.9)$$

La fonction $q(x)$ représente le débit latéral par unité de longueur de l'abscisse curviligne du canal. Cette fonction $q(x)$ est positive quand l'extérieur alimente le canal. À un instant fixé c'est le volume de liquide contenu entre S_1 et S_2 dont les abscisses curvilignes sont x_1 et x_2 , la surface libre au contact de l'atmosphère qui peut varier en fonction du temps, la surface latérale solide du canal est supposée imperméable. Le bilan s'obtient en écrivant que le débit à travers la surface de contrôle est égal au débit latéral apporté. Bien entendu en tout point de la surface de contrôle le vecteur normal unitaire sera orienté positivement vers l'extérieur. En considérant la dérivée particulière du volume v occupé à l'intérieur de la surface de contrôle les équations s'écrivent ainsi :

$$\frac{Dv}{Dt} = \iint_S \vec{V} \cdot \vec{n} dS = \int_{x_1}^{x_2} q(x) dx \quad (3.32)$$

Sur la surface libre $\vec{V} \cdot \vec{n} = \frac{\partial y}{\partial t}$ puisque $y(x, t)$ désigne le tirant d'eau. L'écoulement étant toujours unidimensionnel l'élément de la surface dS de la surface libre s'écrit $dS = L dx$ puisque $L(x, t)$ désigne la largeur au miroir de la section transversale droite mouillée à l'abscisse x et à l'instant t .

Le bilan du débit s'écrit :

$$Q(x_2, t) - Q(x_1, t) + \int_{x_1}^{x_2} L \frac{\partial y}{\partial t} dx = \int_{x_1}^{x_2} q(x) dx \quad (3.33)$$

Où :

$$Q(x_2, t) - Q(x_1, t) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\partial Q}{\partial x} dx \quad (3.34)$$

Le milieu étant supposé continu, le théorème de l'intégrale nulle conduit à l'équation :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + L \frac{\partial y}{\partial t} = q(x) \quad (3.35)$$

Remarquons que Ldy représente l'accroissement dS de la section mouillée relative à l'abscisse curviligne x . L'équation précédente s'écrit :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = q(x) \quad (3.9)$$

III.3.1. Différentes formes de l'équation de la conservation de la masse

III.3.1.1. Prise en compte de la vitesse

Soit la relation $Q = S\bar{U}$ (3.1). L'équation de la conservation de la masse s'écrit :

$$\bar{U} \frac{\partial S}{\partial x} + S \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = q(x) \quad (3.36)$$

III.3.1.2. Prise en compte de y et L :

Soit la différentielle $dS = Ldy$ et en divisant les deux membres de l'équation précédente par L , nécessairement différente de zéro, puisqu'il y a écoulement dans le canal, on obtient l'expression suivante :

$$\bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{S}{L} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{L} \quad (3.37)$$

III.3.1.3. Prise en compte de la célérité de l'onde

Le rapport $\frac{S}{L}$ étant par définition le tirant d'eau moyen y_m . En remplaçant $\frac{S}{L}$ par $\frac{c^2}{g}$

.On obtient l'équation de la conservation de la masse pour un canal prismatique :

$$\bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{L} \quad (3.38)$$

L'équation générale de la conservation de la masse écrite ci-dessous :

$$\bar{U} \frac{\partial S}{\partial x} + S \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial S}{\partial t} = q(x) \quad (3.36)$$

En considérant que le canal est non prismatique, et introduisant le tirant d'eau et la largeur au miroir, l'équation de la conservation de la masse s'écrit :

$$\bar{U} L \frac{\partial y}{\partial x} + \bar{U} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_y + S \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + L \frac{\partial y}{\partial t} = q \quad (3.39)$$

Divisons les deux membres de l'équation par L et introduisant la célérité c , l'équation précédente s'écrit :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\bar{U}}{L} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_y = \frac{q}{L} \quad (3.40)$$

Par conséquent pour un canal non prismatique $\left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_y \neq 0$.

III.4. Equation de Saint Venant à surface libre

L'équation de Saint-Venant peut être généralisée en tenant compte du caractère non prismatique du canal ainsi que de la prise en compte d'éventuels apports latéraux. Nous allons obtenir l'équation de Saint Venant en appliquant directement la loi de la dynamique sur une tranche de liquide d'épaisseur dx dont nous rechercherons la composante scalaire suivant la direction de l'écoulement moyen. Dans ces conditions l'équation de la dynamique s'écrit :

$$\rho S dx \frac{D\bar{U}}{Dt} = \sum F_e \quad (3.41)$$

Les forces extérieures qui agissent sur la tranche de liquide considérée sont :

- La composante scalaire suivant le mouvement du poids de la tranche liquide.
- La résultante des forces de pression s'exerçant sur les deux surfaces transversales mouillées de la tranche liquide.
- Les forces de frottement sur la surface latérale de la tranche liquide considérée.
- les forces relatives aux apports latéraux.

L'écoulement étant supposé unidimensionnel et transitoire le terme $\rho S dx$ s'écrit :

$$\rho S dx \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \bar{U} \right) \quad (3.42)$$

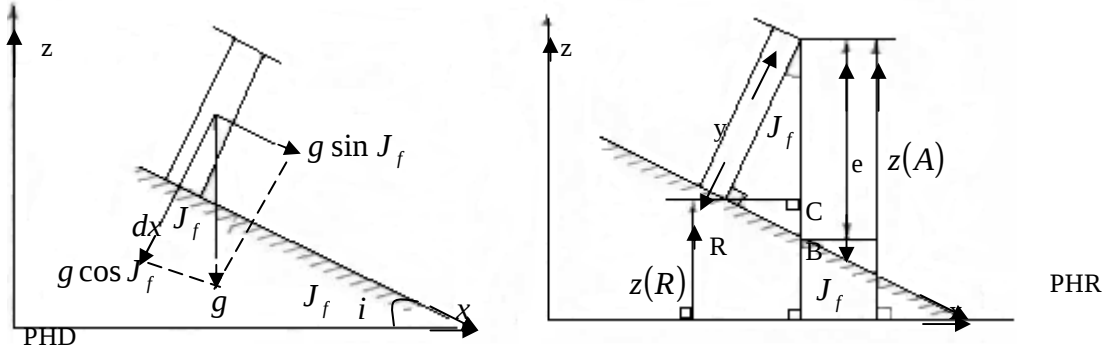


Figure 3.2 Equation de Saint venant a surface libre

La composante scalaire du poids de la tranche liquide dans le sens de l'écoulement s'écrit :

Généralement les pentes des canaux sont petites et nous pouvons écrire :

$$\rho S dx g \sin J_f \quad (3.43)$$

$$\rho S dx g \sin J_f \cong \rho S dx g J_f \quad (3.44)$$

$$p(R) dx dL = \rho g y \cos J_f dx dL \quad (3.45)$$

$$\frac{p(R)}{\rho g} = y \cos J_f \quad (3.46)$$

Le bilan des forces de pression exercées sur les deux sections de la tranche liquide s'écrit :

$$-\rho g \frac{\partial(h_g S)}{\partial x} \quad (3.47)$$

Le signe de la dérivée partielle $\frac{\partial(h_g S)}{\partial x}$ n'est pas a priori connu. Suivant les cas, les forces de pression sur les sections transversales droites auront une action motrice ou retardatrice sur l'écoulement du liquide.

Les forces de frottement que le liquide en mouvement exerce sur la surface latérale solide du canal χdx sont toujours opposées au sens de l'écoulement et ont l'expression suivante :

$$-\tau_0 \chi dx = -\frac{\lambda \bar{U}^2}{2gD_h} \rho S dx = -\rho S dx g J \quad (3.48)$$

Il faut enfin tenir compte de la force générée par l'apport latéral par unité de longueur q_l se réalisant dans la tranche liquide d'épaisseur dx . Si le canal reçoit un apport latéral, q_l est positif. Si le canal alimente l'extérieur, q_l est négatif. Il faut, quand il y a apport, tenir compte de la composante scalaire V de la vitesse de l'apport dans le sens de l'écoulement du canal. Nous écrirons, Q désignant le débit du canal :

$$\rho \frac{\partial Q}{\partial x} V dx = \rho q V dx \quad (3.49)$$

La composante scalaire suivant l'écoulement de l'équation de la dynamique écrite sur la tranche de liquide d'épaisseur dx a pour expression :

$$\rho S dx \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \bar{U} \right) = \rho S dx g J_f - \rho g \frac{\partial(h_G S)}{\partial x} dx - \rho S dx g J + \rho q V dx \quad (3.50)$$

Divisons les deux membres de cette équation par $\rho g S dx$ qui est le module du poids de la tranche de liquide en mouvement. On obtient :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right) = J_f - J - \frac{1}{S} \frac{\partial(h_G S)}{\partial x} + \frac{qV}{gS} \quad (3.51)$$

Puisque le canal n'est pas prismatique la section transversale droite mouillée S est fonction du tirant d'eau y et de l'abscisse curviligne de l'écoulement x . La différentielle $d(h_G S)$ s'écrit :

$$d(h_G S) = \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial x} \right]_{y,t} dx + \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial y} \right]_{x,t} dy \quad (3.52)$$

La dérivée partielle $\frac{\partial(h_G S)}{\partial y}$ est égale à la surface transversale droite mouillée, noté S . Par suite :

$$-\frac{1}{S} \frac{\partial(h_G S)}{\partial x} = -\frac{1}{S} \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial x} \right]_{y,t} - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (3.53)$$

La composante scalaire suivant l'écoulement de l'équation de la dynamique s'écrit :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} - J_f + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right) + J = -\frac{1}{S} \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial x} \right]_{y,t} + \frac{qV}{gS} \quad (3.54)$$

Puisque $-J_f = \frac{\partial z}{\partial x}$, nous pouvons écrire :

$$-J_f + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right) = \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(z + y + \frac{\bar{U}^2}{2g} \right) = \frac{\partial \bar{H}}{\partial x} \quad (3.55)$$

Le premier membre de l'équation (3.55) représente l'équation de Saint Venant pour un canal prismatique et sans apport latéral :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{H}}{\partial x} + J = -\frac{1}{S} \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial x} \right]_{y,t} + \frac{qV}{gS} \quad (3.56)$$

Supposant que le canal est prismatique et que l'écoulement s'effectue sans apport latéral :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right) - J_f + J = 0 \quad (3.57)$$

Cette équation est la somme nulle de cinq pentes algébriques notées respectivement :

$$P_i, i = 1, 2, 3, 4, 5. \quad P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 0$$

La pente $P_1 = \frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t}$ résulte de l'existence d'un écoulement transitoire. Lorsqu'un écoulement à surface libre est permanent la pente $P_1 = 0$.

La pente $P_2 = \frac{\partial y}{\partial x}$ possède une signification physique précise, c'est la pente à l'abscisse x et à l'instant t de la surface libre de l'écoulement, c'est-à-dire la pente de la courbe de remous.

La pente $P_3 = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\bar{U}^2}{2g} \right)$ résulte de la variation du module de la vitesse moyenne de l'écoulement par rapport à l'abscisse curviligne de celui-ci.

La pente $P_4 = -J_f$ définit la géométrie locale du radier du canal.

La pente $P_5 = J$ est toujours positive. Elle traduit la perte de charge unitaire de l'écoulement à surface libre.

Les simplifications successives de l'équation (3.57) conduisent à distinguer divers types de comportements ondulatoires. [10] Dans sa forme complète elle correspond à une onde dynamique. Lorsque l'accélération locale est négligeable ou nulle l'équation correspond à une onde dynamique quasi permanente. Si le terme d'inertie $\partial \bar{U} / \partial x$ est en outre négligeable devant la variation de la surface libre $\partial y / \partial x$, l'onde dynamique quasi permanente devient une onde diffusante. Finalement si $\partial y / \partial x$ est négligeable ou nulle, l'équation d'énergie se réduit à $J = J_f$, relation qui correspond à une onde cinématique.

III.4.1. Introduction du débit pour l'écriture de l'équation de Saint Venant

Puisque l'écoulement est unidimensionnel et compte tenu de l'équation $Q = S\bar{U}$ (3.1). L'équation générale de la conservation de la masse en tenant compte d'éventuels apports latéraux s'écrit :

$$\frac{\partial S}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (3.9)$$

En supposant que le canal est non prismatique la dérivée partielle de la section mouillée $\frac{\partial S}{\partial x}$ a pour expression puisque $S = S(y, x) = S[y(x, t), x]$:

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{y,t} + \frac{\partial S}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial x} = \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{y,t} + L \frac{\partial y}{\partial x} \quad (3.58)$$

Le terme $\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t}$ traduisant la non permanence de l'écoulement s'écrit en tenant compte de l'équation de la conservation de la masse :

$$\frac{1}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Qq}{gS^2} + \frac{Q}{gS^2} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (3.59)$$

Le terme $\frac{\partial \bar{H}}{\partial x}$, en supposant $\alpha = 1$ s'écrit :

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial x} = -J_f + \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{Q}{gS^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gS^3} \frac{\partial S}{\partial x} \quad (3.60)$$

Le canal étant supposé non prismatique donc $\frac{\partial \bar{H}}{\partial x}$ s'écrit :

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial x} = -J_f + \frac{\partial y}{\partial x} \left(1 - \frac{Q^2 L}{gS^3} \right) + \frac{Q}{gS^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gS^3} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{y,t} \quad (3.61)$$

L'équation de Saint Venant prend la forme suivante, obtenue en regroupant certains termes :

$$\frac{\partial y}{\partial x} \left(1 - \frac{Q^2 L}{gS^3} \right) - J_f + J + \frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{Qq}{gS^2} + 2 \frac{Q}{gS^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q^2}{gS^3} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{y,t} = -\frac{1}{S} \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial x} \right]_{y,t} + \frac{qV}{gS} \quad (3.62)$$

Si l'écoulement est permanent $\frac{1}{gS} \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$, et le tirant d'eau et le débit ne sont fonction que de l'abscisse x de l'écoulement.

Pour un canal prismatique les termes : $-\frac{Q^2}{gS^3} \left(\frac{\partial S}{\partial x} \right)_{y,t} = 0$ et $-\frac{1}{S} \left[\frac{\partial(h_G S)}{\partial x} \right]_{y,t} = 0$.

Dans le cas où l'écoulement est progressivement croissant dans le canal, nous pouvons écrire

alors $\frac{dQ}{dx} = q$.

L'équation précédente devient:

$$\frac{dy}{dx} \left(1 - \frac{Q^2 L}{gS^3} \right) - J_f + J + \frac{Qq}{gS^2} = \frac{qV}{gS} \quad (3.63)$$

CHAPITRE IV
METHODES NUMERIQUES
DE RESOLUTION DU
SYSTEME
DE SAINT VENANT

CHAPITRE. IV. METHODES NUMERIQUES DE RESOLUTION DU SYSTEME DE SAINT VENANT

IV.1. Introduction

Cette forme unidimensionnelle du système de Saint Venant convient à l'utilisation de schémas numériques divers (différences finies, méthodes des caractéristiques) retenus par plusieurs outils de calcul récents [11], [12] qui permettent d'estimer l'étendue due d'une inondation de rupture de barrage. On la privilégie lorsque la forme du domaine probable d'écoulement permet de supposer que les variations transversales de niveau d'eau et les composantes transversales des écoulements ne seront pas significatives durant la crue.

La résolution du système demande qu'on définisse les conditions aux limites du domaine (conditions de vitesses; conditions de niveau) et des conditions initiales (niveaux et vitesses en tous points à l'instant $t = 0$).

Même s'il représente une simplification, le calcul par l'approche unidimensionnelle est parfois plus conforme aux connaissances disponibles et aux résultats recherchés. Les conditions aux frontières et les conditions initiales qu'il faut utiliser pour commencer le calcul se déterminent plus facilement. des données enregistrées de l'exploitation de stations de jaugeage où des contrôles hydrauliques (seuils, centrales) en rivière indiquent plus souvent $Q(y)$, et $\bar{U}(y)$. Ces données conviennent directement, sans traitement, à des résolutions unidimensionnelles. Le débit instantané et l'hydrogramme de la crue en chaque section d'intérêt du canal sont des résultats directs, même si le sens physique du débit est faible en plaine inondable.

IV.2. Méthode des caractéristiques

En privilégiant le tirant d'eau $y(x, t)$ et le module de la vitesse moyenne dans une section transversale $\bar{U}(x, t)$ et dans le cas d'un écoulement s'effectuant sans apport latéral dans un canal prismatique, l'équation (3.38) s'écrit :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = 0 \quad (4.1)$$

Avec :

$$c = \sqrt{g \frac{S}{L}} = \sqrt{g y_m}$$

Où :

y_m : Profondeur moyenne.

En utilisant l'équation suivante de Saint Venant adaptée aux écoulements sans apport latéral s'effectuant dans un canal prismatique :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(J_f - J) \quad (4.2)$$

En considérant un plan dont l'axe des abscisses représente les tirants d'eau y et l'axe des ordonnées le module des vitesses moyennes $\bar{U}$ dans les sections mouillées.

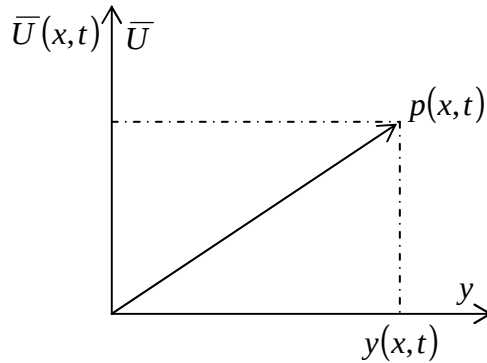


Figure 4. 1 Méthode des caractéristiques pour un écoulement à surface libre

En Considérant dans ce plan le vecteur $\vec{P}(x,t)$ ayant pour composantes scalaires $y(x,t)$ et $\bar{U}(x,t)$. On déduit que le vecteur $\frac{\partial \vec{P}}{\partial x}$ a pour composantes scalaires $\frac{\partial y}{\partial x}$ et $\frac{\partial \bar{U}}{\partial x}$. Et le vecteur $\frac{\partial \vec{P}}{\partial t}$ a pour composantes scalaires $\frac{\partial y}{\partial t}$ et $\frac{\partial \bar{U}}{\partial t}$. Etant donné qu'un vecteur pouvant être représenté par une matrice colonne, les deux équations précédentes peuvent donc s'écrire sous forme matricielle comme suit :

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial t} \\ \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{U} & \frac{c^2}{g} \\ g & \bar{U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial x} \\ \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ g(J_f - J) \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Où sous la forme vectorielle :

$$[I] \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} + [A] \frac{\partial \vec{P}}{\partial x} = \vec{B} \quad (4.4)$$

En identifiant les matrices carrées $\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ à $[I]$ et $\begin{bmatrix} \bar{U} & \frac{c^2}{g} \\ g & \bar{U} \end{bmatrix}$ à $[A]$ et en désignant par $\vec{B}$ le vecteur dont les composantes scalaires sont 0 et $g(J_f - J)$.

Après présentation de l'équation de la conservation de la masse et de l'équation de Saint

Venant on peut définir dans un plan x, t par une équation $t = f(x)$ la **trajectoire des perturbations**. Il convient de mentionner que **sur tous les points d'une trajectoire des perturbations les variables x et t sont liées**. Sur ces trajectoires le vecteur $\vec{P}(x, t)$ devient fonction de la seule abscisse de l'écoulement puisque nous pouvons écrire :

$$\vec{P}(x, t) = \vec{P}[x, f(x)] = \vec{P}_0(x) \quad (4.5)$$

La différentielle $d\vec{P}$ s'écrit :

$$d\vec{P} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial x} dx + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} dt \quad (4.6)$$

La dérivée $\frac{d\vec{P}_0}{dx}$ sur une trajectoire des perturbations qui a pour expression :

$$\frac{d\vec{P}_0}{dx} = \frac{\partial \vec{P}}{\partial x} + \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} \frac{dt}{dx} \quad (4.7)$$

met en évidence la dérivée $\frac{dt}{dx}$ de l'équation de la trajectoire des perturbations.

Puisque $\frac{\partial \vec{P}}{\partial x} = \frac{d\vec{P}_0}{dx} - \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} \frac{dt}{dx}$, l'équation vectorielle (4.4) s'écrit alors sur une trajectoire des perturbations comme suit :

$$[I] \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} + [A] \frac{d\vec{P}_0}{dx} - [A] \frac{dt}{dx} \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} = \vec{B} \quad (4.8)$$

$$\left([I] - \frac{dt}{dx} [A] \right) \frac{\partial \vec{P}}{\partial t} = \vec{B} - [A] \frac{d\vec{P}_0}{dx} \quad (4.9)$$

Au niveau d'une perturbation $y(x, t)$ et $\bar{U}(x, t)$ sont des fonctions discontinues. Le système des deux équations scalaires qui sont les composantes de l'équation vectorielle précédente est indéterminé. Mathématiquement cela revient à écrire la nullité des deux déterminants suivants :

$$\left| [I] - \frac{dt}{dx} [A] \right| = 0$$

déterminant adjoint = 0

$$\begin{aligned}
\left[I \right] - \frac{dt}{dx} [A] &= \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} \frac{dt}{dx} \bar{U} & \frac{dt}{dx} \frac{c^2}{g} \\ \frac{dt}{dx} g & \frac{dt}{dx} \bar{U} \end{vmatrix} \\
&= \begin{vmatrix} \left(1 - \frac{dt}{dx} \bar{U} \right) & \left(-\frac{dt}{dx} \frac{c^2}{g} \right) \\ \left(-\frac{dt}{dx} g \right) & \left(1 - \frac{dt}{dx} \bar{U} \right) \end{vmatrix} \\
&= \left(1 - \frac{dt}{dx} \bar{U} \right)^2 - \left(\frac{dt}{dx} c \right)^2
\end{aligned} \tag{4.10}$$

On obtient les équations différentielles du premier ordre permettant de définir les trajectoires :

$$\left[1 + (c - \bar{U}) \frac{dt}{dx} \right] \left[1 - (c + \bar{U}) \frac{dt}{dx} \right] = 0 \tag{4.11}$$

La célérité c est une fonction de x et de t . Nous devons donc résoudre les équations différentielles suivantes :

$$\frac{dx}{dt} = \bar{U}(x, t) - c(x, t) \tag{4.12}$$

$$\frac{dx}{dt} = \bar{U}(x, t) + c(x, t) \tag{4.13}$$

Il existe donc deux familles de trajectoires des perturbations.

On prend un canal de section rectangulaire, de pente constante sur toute la longueur du canal, la rugosité des parois est la même, dans lequel se trouve réalisé un écoulement permanent et uniforme. Dans un tel écoulement y est constant $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$, et le module de $\bar{U}$ est constant dans toute

section mouillée $\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = 0$.

Après une rupture brutale et instantanément du barrage située à l'abscisse $x = 0$ l'écoulement permanent uniforme sera modifié et en annulant le débit du canal au niveau du barrage, le processus qui aura lieu dans la partie du canal située à l'amont du barrage se résumera ainsi :

A l'instant $t = 0 + \varepsilon$ les particules se trouvant à l'amont immédiat du barrage ne peuvent plus poursuivre leur propre trajectoire. Toutes les particules situées dans la section $x = 0$, supposée rectangulaire, voient au même instant leur énergie cinétique $\frac{1}{2} m \bar{U}^2$ se transformer en énergie

potentielle qui se caractérise par la génération de l'augmentation Δy du tirant d'eau. Il se crée une première couche de particules parallèles à la surface plane de la section rectangulaire du barrage dont la vitesse est nulle et sur laquelle viennent à leur tour s'arrêter les particules suivantes qui à leurs tour transforment leurs énergie cinétique en énergie potentielle. Si à l'instant t , on observe l'état du canal à l'amont du barrage nous constatons que la section transversale droite mouillée se trouvant à l'abscisse x sépare le liquide contenu dans le canal en deux domaines :

- Dans le domaine (I) l'écoulement est toujours permanent et uniforme. Le tirant d'eau est y et le module de la vitesse est $\bar{U}$.
- Dans le domaine (2) la vitesse est partout nulle et dans chaque section droite le tirant d'eau est $y + \Delta y$.

La section mouillée servant de frontière aux deux domaines progresse du barrage vers l'extrémité amont du canal à la célérité $\bar{U} - c$. De part et d'autre de cette surface frontière nous constatons la discontinuité du tirant d'eau y et du module de la vitesse moyenne $\bar{U}$.

Déduisant maintenant la seconde condition de l'indétermination de l'équation vectorielle le long d'une trajectoire des perturbations. En mettant sous la forme d'une matrice colonne à deux éléments le vecteur $\vec{B} - [A] \frac{d\vec{P}_0}{dx}$.

$$\left[\vec{B} - [A] \frac{d\vec{P}_0}{dx} \right] = \begin{bmatrix} 0 \\ g(J_f - J) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{U} & \frac{c^2}{g} \\ g & \bar{U} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dy_0}{dx} \\ \frac{d\bar{U}_0}{dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(\bar{U} \frac{dy_0}{dx} + \frac{c^2}{g} \frac{d\bar{U}_0}{dx} \right) \\ g(J_f - J) - \left(g \frac{dy_0}{dx} + \bar{U} \frac{d\bar{U}_0}{dx} \right) \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Le déterminant adjoint s'obtient en substituant dans le déterminant principal les éléments de la deuxième colonne par ceux de la matrice colonne ci-dessus. Il vient :

$$\begin{vmatrix} \left(1 - \frac{dt}{dx} \bar{U} \right) & -\left(\bar{U} \frac{dy_0}{dx} + \frac{c^2}{g} \frac{d\bar{U}_0}{dx} \right) \\ -gdt & [g(J_f - J)dx - (gdy + \bar{U}d\bar{U})] \end{vmatrix} = 0 \quad (4.15)$$

Puisque nous travaillons le long d'une perturbation dont le déplacement dx s'écrit en raison de la nullité du déterminant principal :

$$dx = (\bar{U} + c)dt \quad (4.16)$$

$$dx = (\bar{U} - c)dt \quad (4.17)$$

En multipliant par dx chaque élément du déterminant adjoint. Les différentielles dy_0 et $d\bar{U}_0$

pouvant être supprimé :

$$\begin{vmatrix} (dx - \bar{U}dt) & -\left(\bar{U}dy + \frac{c^2}{g}d\bar{U}\right) \\ -gdt & [g(J_f - J)dx - (gdy + \bar{U}d\bar{U})] \end{vmatrix} = 0 \quad (4.18)$$

Le long de la trajectoire d'une perturbation les différentielles dx et dt sont liées par l'une ou l'autre des deux équations différentielles ci-dessus :

$$dx - \bar{U}dt = cdt \quad (4.19)$$

$$dx - \bar{U}dt = -cdt \quad (4.20)$$

En mettant en facteur la différentielle dt dans les éléments de la première colonne du déterminant adjoint qui s'écrit :

$$\begin{vmatrix} \pm c & -\left(\bar{U}dy + \frac{c^2}{g}d\bar{U}\right) \\ -g & [g(J_f - J)(\bar{U} \pm c)dt - (gdy + \bar{U}d\bar{U})] \end{vmatrix} = 0 \quad (4.21)$$

Après avoir mis l'expression $\bar{U} \pm c$ en facteur le déterminant adjoint a pour expression :

$$(\bar{U} \pm c)[\pm cg(J_f - J)dt - gdt \mp cd\bar{U}] = 0 \quad (4.22)$$

Mettons maintenant $\frac{g}{dt}$ en facteur l'équation précédente s'écrit :

$$\frac{g}{dt}(\bar{U} \pm c)\left[\pm c(J_f - J) - \frac{dy}{dt} \mp \frac{c}{g} \frac{d\bar{U}}{dt}\right] = 0 \quad (4.23)$$

Sur la famille des trajectoires des perturbations définie par l'équation différentielle $\frac{dx}{dt} = \bar{U} + c$, le tirant d'eau y et la vitesse moyenne sont liés par l'équation différentielle :

$$\frac{dy}{dt} + \frac{c}{g} \frac{d\bar{U}}{dt} = c(J_f - J) \quad (4.24)$$

Sur la famille des trajectoires des perturbations définie par l'équation différentielle $\frac{dx}{dt} = \bar{U} - c$ le tirant d'eau y et la vitesse moyenne $\bar{U}$ sont liés par l'équation différentielle :

$$\frac{dy}{dt} - \frac{c}{g} \frac{d\bar{U}}{dt} = -c(J_f - J) \quad (4.25)$$

Ecrivons les dérivées particulières de $y(x, t)$ et $\bar{U}(x, t)$:

$$\frac{Dy}{Dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (4.26)$$

$$\frac{D\bar{U}}{Dt} = \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (4.27)$$

La vitesse étant $\frac{dx}{dt} = \bar{U} + c$ ou $\frac{dx}{dt} = \bar{U} - c$.

Ecrivons alors les deux équations suivantes en expliquant les dérivées particulières :

$$\frac{Dy}{Dt} + \frac{c}{g} \frac{D\bar{U}}{Dt} = c(J_f - J) \quad (4.28)$$

$$\frac{Dy}{Dt} - \frac{c}{g} \frac{D\bar{U}}{Dt} = -c(J_f - J) \quad (4.29)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} (\bar{U} + c) + \frac{c}{g} \left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} (\bar{U} + c) \right] = c(J_f - J) \quad (4.30)$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} (\bar{U} - c) - \frac{c}{g} \left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} (\bar{U} - c) \right] = -c(J_f - J) \quad (4.31)$$

Chacune de ces équations peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\left(\frac{\partial y}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right) + \frac{c}{g} \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} \right) = c(J_f - J) \quad (4.32)$$

$$\left(\frac{\partial y}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right) - \frac{c}{g} \left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} \right) = -c(J_f - J) \quad (4.33)$$

L'équation (4.32) n'est autre que la somme de l'équation de la conservation de la masse et de l'équation de quantité de mouvement multipliée par $\frac{c}{g}$, tandis que l'équation (4.33) est la différence

entre l'équation de la conservation de la masse et de l'équation de Saint Venant multipliée par $\frac{c}{g}$.

La prise en compte des trajectoires des perturbations nous a permis de remplacer le système des deux équations aux dérivées partielles initiales, c'est-à-dire l'équation de conservation de la masse et l'équation de quantité de mouvement, en un ensemble de quatre équations différentielles deux à deux associées.

Dans le plan x, t la solution générale de l'équation différentielle $\frac{dx}{dt} = \bar{U}(x, t) + c(x, t)$ génère une première famille de courbes caractéristiques appelées caractéristiques C^+ . Sur chaque courbe C^+ le tirant d'eau et le module de la vitesse moyenne se trouvent liés par

l'équation $\frac{Dy}{Dt} + \frac{c}{g} \frac{D\bar{U}}{Dt} = c(J_f - J)$. De même dans le plan x, t la solution générale de l'équation différentielle $\frac{dx}{dt} = \bar{U}(x, t) - c(x, t)$, génère une première famille de courbes caractéristiques appelées caractéristiques C^- . Sur chacune des courbes C^- le tirant d'eau et le module de la vitesse moyenne se trouvent liés par l'équation $\frac{Dy}{Dt} - \frac{c}{g} \frac{D\bar{U}}{Dt} = -c(J_f - J)$.

On a donné une présentation physique à la méthode des caractéristiques fondée sur l'observation d'une surface de discontinuité mobile dans le canal après la rupture. En abordant le problème sous un aspect plus mathématique, soit $E_1 = 0$ l'équation de la conservation de la masse et $E_2 = 0$ l'équation de Saint Venant. Formons la combinaison linéaire $E = \lambda_1 E_1 + \lambda_2 E_2$ de ces deux équations aux dérivées partielles.

Ecrivons les équations :

$$E_1 = \frac{\partial y}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = 0 \quad (4.34)$$

$$E_2 = \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(J_f - J) = 0 \quad (4.35)$$

La combinaison linéaire devient :

$$\begin{aligned} E &= \lambda_1 E_1 + \lambda_2 E_2 \\ &= \lambda_1 \frac{\partial y}{\partial t} + (\lambda_1 \bar{U} + \lambda_2 g) \frac{\partial y}{\partial x} + \lambda_2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \left(\lambda_1 \frac{c^2}{g} + \lambda_2 \bar{U} \right) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} - \lambda_2 g(J_f - J) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (4.36)$$

On écrivant E sous la forme d'une combinaison linéaire des dérivées partielles de y et de $\bar{U}$:

$$E = \lambda_1 \frac{Dy}{Dt} + \lambda_2 \frac{D\bar{U}}{Dt} - \lambda_2 g(J_f - J) = 0 \quad (4.37)$$

Sachant que :

$$\frac{Dy}{Dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (4.26)$$

$$\frac{D\bar{U}}{Dt} = \frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \frac{dx}{dt} \quad (4.27)$$

dans ces conditions E devient :

$$E = \lambda_1 \left[\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{(\lambda_1 \bar{U} + \lambda_2 g)}{\lambda_1} \frac{\partial y}{\partial x} \right] + \lambda_2 \left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\left(\lambda_1 \frac{c^2}{g} + \lambda_2 g \right)}{\lambda_2} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right] - \lambda_2 (J_f - J) = 0 \quad (4.38)$$

Il en résulte que nous devons avoir les deux égalités :

$$E = \lambda_1 \left[\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial y}{\partial x} \right] + \lambda_2 \left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right] - \lambda_2 (J_f - J) = 0 \quad (4.39)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\lambda_1 \bar{U} + \lambda_2 g}{\lambda_1} \quad (4.40)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\lambda_1 \frac{c^2}{g} + \lambda_2 \bar{U}}{\lambda_2} \quad (4.41)$$

Eliminons $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ entre ces deux équations. L'équation en $\frac{dx}{dt}$ admet deux racines réelles.

$$\frac{g}{\left(\frac{dx}{dt} - \bar{U} \right)} = \frac{g}{c^2} \left(\frac{dx}{dt} - \bar{U} \right) \Rightarrow \left(\frac{dx}{dt} - \bar{U} + c \right) \left(\frac{dx}{dt} - \bar{U} - c \right) = 0 \quad (4.42)$$

Nous retrouvons les équations différentielles qui définissent les caractéristiques dans le plan x, t .

Nous pouvons maintenant écrire :

$$E = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \left[\frac{\partial y}{\partial t} + \left(\bar{U} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1} g \right) \frac{\partial y}{\partial x} \right] + \left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \frac{c^2}{g} + \bar{U} \right) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right] - g(J_f - J) = 0 \quad (4.43)$$

Pour avoir $\frac{dx}{dt} = \bar{U} + c$ il faut prendre $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{g}{c}$ et pour avoir $\frac{dx}{dt} = \bar{U} - c$ il faut prendre $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = -\frac{g}{c}$ il

en résulte que :

$$E = \pm \frac{g}{c} \frac{Dy}{Dt} + \frac{D\bar{U}}{Dt} - g(J_f - J) = 0 \Rightarrow \frac{D\bar{U}}{Dt} \pm \frac{g}{c} \frac{Dy}{Dt} = g(J_f - J) \quad (4.44)$$

Nous retrouvons ainsi les équations reliant le tirant d'eau et le module de la vitesse moyenne le long d'une caractéristique.

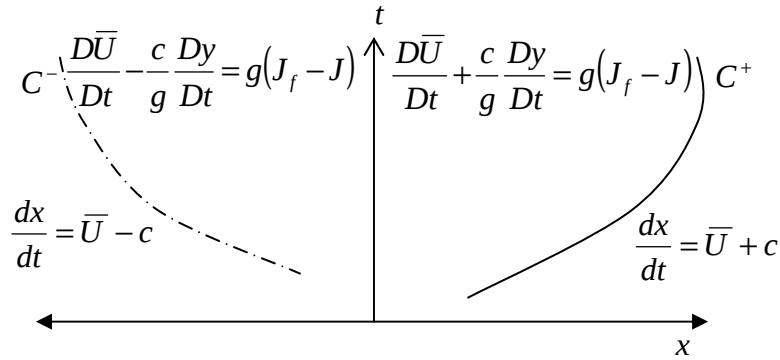


Figure 4. 2. Les courbes caractéristiques positives et négatives

IV.3. Equations différentielles des caractéristiques et les régimes d'écoulement

Les trajectoires des perturbations appelées aussi caractéristiques sont définies par les équations différentielles suivantes :

Caractéristiques C^+ :

$$\frac{dx}{dt} = \bar{U} + c = c \left(1 + \frac{\bar{U}}{c} \right) \quad (4.45)$$

Caractéristiques C^- :

$$\frac{dx}{dt} = \bar{U} - c = -c \left(1 - \frac{\bar{U}}{c} \right) \quad (4.46)$$

Considérons le nombre adimensionnel $\frac{\bar{U}}{c}$ dans une section transversale. Le nombre de Froude F étant :

$$F = \frac{\bar{U}(x, t)}{c(x, t)} \quad (4.47)$$

On peut maintenant écrire les équations différentielles des caractéristiques (4.45) et (4.46) sous la forme suivante :

Caractéristiques C^+ :

$$\frac{dx}{dt} = c(1 + F) \quad (4.48)$$

Caractéristiques C^- :

$$\frac{dx}{dt} = -c(1 - F) \quad (4.49)$$

Si l'écoulement est fluvial $F < 1$ et la caractéristique C^+ a une pente positive et la caractéristique C^- une pente négative. Et dans le cas où l'écoulement est torrentiel $F > 1$ les deux caractéristiques C^+ et C^- sont de pente positive. L'écoulement est critique pour $F = 1$.

IV.4. Equations différentielles des caractéristiques et célérité

Comme le canal étant de section rectangulaire la célérité des intumescences aura pour expression :

$$c(x, t) = \sqrt{gy(x, t)} \quad (4.50)$$

Il en résulte que nous pouvons écrire :

$$y = \frac{c^2}{g} \Rightarrow dy = 2 \frac{c}{g} dc$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial y}{\partial t} = 2 \frac{c}{g} \frac{\partial c}{\partial t} \\ \frac{\partial y}{\partial x} = 2 \frac{c}{g} \frac{\partial c}{\partial x} \end{cases}$$

Les équations différentielles des caractéristique (4.32) et (4.33) peuvent être écrites sous la forme suivantes :

$$\left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + (\bar{U} + c) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right] + 2 \left[\frac{\partial c}{\partial t} + (\bar{U} + c) \frac{\partial c}{\partial x} \right] = g(J_f - J) \quad (5.51)$$

$$\left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + (\bar{U} - c) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \right] + 2 \left[\frac{\partial c}{\partial t} + (\bar{U} - c) \frac{\partial c}{\partial x} \right] = g(J_f - J) \quad (4.52)$$

En utilisant le concept de dérivée particulière, elles s'écrivent aussi comme suit :

$$\begin{cases} \frac{D}{Dt} (\bar{U} + 2c) = g(J_f - J) \\ \text{avec} \\ \frac{dx}{dt} = \bar{U} + c \end{cases} \quad (4.53)$$

$$\begin{cases} \frac{D}{Dt} (\bar{U} - 2c) = g(J_f - J) \\ \text{avec} \\ \frac{dx}{dt} = \bar{U} - c \end{cases} \quad (4.54)$$

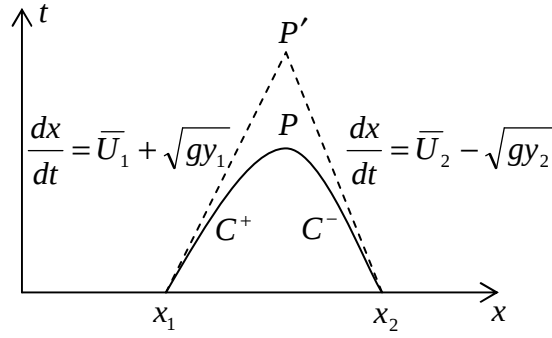


Figure 4. 3 Principe de résolution avec la méthode des caractéristiques

Les caractéristiques C^+ et C^- sont des courbes qui se coupent au point P ayant pour coordonnées l'abscisse x_p et le temps t_p . C'est à cette abscisse x_p et à cet instant t_p que doivent être déterminé $y_p(x_p, t_p)$ et $\bar{U}_p(x_p, t_p)$. En prenant une distance $x_2 - x_1$ petite et un intervalle de temps petit l'élément d'arc de chaque caractéristique peut être assimilé à la tangente. Nous savons déterminer le tirant d'eau et le module de la vitesse moyenne au point P' voisin du point réel P .

A l'instant $t = 0$, $y(x, 0)$ et $\bar{U}(x, 0)$ sont connus à partir des conditions initiales. Il reste à déterminer de manière approchée y et $\bar{U}$ à l'instant $t + \Delta t$. Le pas de temps Δt , est fixé de telle manière que les arcs des caractéristiques soient assimilables à des segments de droite.

Sur la caractéristique P_1P nous pouvons écrire :

$$\begin{cases} \Delta(\bar{U} + 2c) = g(J_f - J)\Delta t \\ \text{avec} \\ P_1P' = (\bar{U} + c)_1 \Delta t \end{cases} \quad (4.55)$$

Sur la caractéristique P_2P nous pouvons écrire :

$$\begin{cases} \Delta(\bar{U} - 2c) = g(J_f - J)\Delta t \\ \text{avec} \\ P_2P' = (\bar{U} - c)_2 \Delta t \end{cases} \quad (4.56)$$

$$\Delta(\bar{U} + 2c) = (\bar{U} + 2c)_p - (\bar{U} + 2c)_1 \quad (4.57)$$

$$g(i - J)\Delta t = gi\Delta t - \frac{g}{2}(J_p + J_1)\Delta t \quad (4.58)$$

$$\Delta(\bar{U} - 2c) = (\bar{U} - 2c)_p - (\bar{U} - 2c)_2 \quad (4.59)$$

$$g(i - J)\Delta t = gi\Delta t - \frac{g}{2}(J_p + J_2)\Delta t \quad (4.60)$$

J_1 , est la perte de charge unitaire au point P_1 c'est à dire la perte de charge de l'écoulement qui à l'abscisse x_{P_1} présente le tirant d'eau connu $y(x_{P_1}, t)$ et le module de la vitesse moyenne

$\bar{U}(x_p, t)$. La perte de charge unitaire J_2 à l'instant t est définie de la même manière.

Nous pouvons écrire les deux équations suivantes :

$$(\bar{U} + 2c)_p = (\bar{U} + 2c)_1 + \frac{g}{2}(J_f - J_1)\Delta t + \frac{g}{2}(J_f - J_p)\Delta t \quad (4.61)$$

$$(\bar{U} - 2c)_p = (\bar{U} - 2c)_2 + \frac{g}{2}(J_f - J_2)\Delta t + \frac{g}{2}(J_f - J_p)\Delta t \quad (4.62)$$

La Soustraction de la deuxième équation de la première donne l'équation suivante :

$$4c_p = (\bar{U} + 2c)_1 - (\bar{U} - 2c)_2 + \frac{g}{2}(J_2 - J_1)\Delta t \quad (4.63)$$

dont tous les termes du second membre sont connus.

La célérité au point P à l'instant $t + \Delta t$ étant donc connue. Grâce à la relation $y_p = \frac{c_p^2}{g}$ le tirant d'eau $y(x_p, t + \Delta t)$ est connu.

En additionnant les deux équations précédentes, nous obtenons la nouvelle relation suivant :

$$2\bar{U}_p - g(J_f - J_p)\Delta t = (\bar{U} + 2c)_1 - (\bar{U} - 2c)_2 + \frac{g}{2}(J_f - J_1)\Delta t + \frac{g}{2}(J_f - J_2)\Delta t \quad (4.64)$$

qui va nous permettre de déterminer $\bar{U}_p$. Tous les termes du second membre de l'équation ci-dessus sont connus.

La perte de charge unitaire J_p , bien que l'écoulement soit transitoire, peu être calculée par la formule de Manning Strickler :

$$j_p = \frac{Q_p^2}{C^2 S_p^2 R_{hp}} = \frac{\bar{U}_p^2}{K R_{hp}^{4/3}} \quad (4.65)$$

Où :

C : Coefficient de Chézy égale à $K R_{hp}^{1/6}$.

K : La rugosité de la paroi du canal.

R_{hp} : Le rayon hydraulique pour y_p à t connu.

Le canal étant rectangulaire de largeur L , le rayon hydraulique R_{hp} s'écrit :

$$R_{hp} = \frac{L y_p}{L + 2 y_p} \quad (4.66)$$

Il en résulte que le rayon hydraulique R_{hp} est connu puisque nous connaissons y_p .

Pour connaître $\bar{U}_p$, Nous devons résoudre l'équation suivante :

$$2\bar{U}_p - g \left(J_f - \frac{\bar{U}_p^2}{KR_{hp}^{4/3}} \right) \Delta t = (\bar{U} + 2c)_1 - (\bar{U} - 2c)_2 + \frac{g}{2} (J_f - J_1) \Delta t + \frac{g}{2} (J_f - J_2) \Delta t \quad (4.67)$$

La résolution du problème de rupture instantanée de barrages exige la connaissance complète de l'écoulement à l'instant initial et les conditions aux limites aux extrémités du canal. Comme le canal est supposé de longueur finie les conditions aux limites aux extrémités amont et aval du canal seront nécessaires.

Disposons dans le plan x, t d'un ensemble de points régulièrement répartis. Soit P le point d'abscisse x et d'ordonnée t . Posons $x = i\Delta x$ et $t = j\Delta t$, i et j sont des nombres entiers. Dans le plan x, t se trouvent disposés un ensemble de points suivant, la configuration indiquée sur le schéma ci-après :

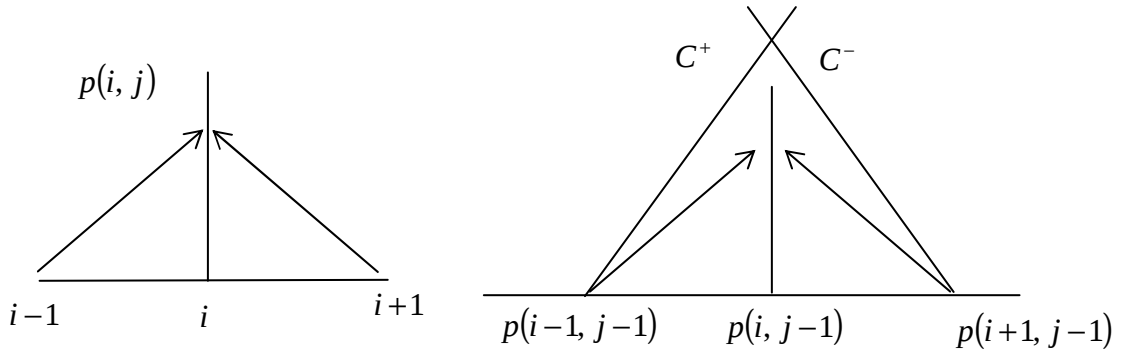


Figure 4. 4 Schéma de discrétisation des équations de Saint Venant

Les conditions initiales nous donnent le module de la vitesse et la célérité des intumescences aux différents points $P(x,0)$ à l'instant $t = 0$, Les conditions aux limites à l'extrémité amont $P(0,t)$ et aval $P(L,t)$ du canal nous donnent la célérité des intumescences et le module de la vitesse à chaque instant t .

On va déterminer le module de la vitesse moyenne et la célérité des intumescences au point $P(i, j)$ ainsi que le module de la vitesse au point $P(0,1)$.

Pour ce faire posons :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = \frac{\bar{U}_{i+1}^0 - \bar{U}_{i-1}^0}{2\Delta x} \quad (4.68)$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_{i+1}^0 - c_{i-1}^0}{2\Delta x} \quad (4.69)$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = \frac{\bar{U}_i^1 - \bar{U}_i^0}{\Delta t} \quad (4.70)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{c_i^1 - c_i^0}{\Delta t} \quad (4.71)$$

Les inconnues à déterminer sont $\bar{U}_i^1$ et c_i^1 .

L'équation de la conservation de la masse s'écrivant :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\bar{U} \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{1}{2} c \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \quad (4.72)$$

Nous pouvons aussi l'écrire de la manière suivante :

$$\frac{\partial c}{\partial t} \Delta t = -\frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(2\bar{U} \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + c \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \Delta x \right) \quad (4.73)$$

Introduisons dans l'équation précédente l'expression des différentes dérivées partielles. Il vient :

$$c_i^1 - c_i^0 = -\frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(\bar{U}_i^0 [c_{i+1}^0 - c_{i-1}^0] + \frac{1}{2} c_i^0 [\bar{U}_{i+1}^0 - \bar{U}_{i-1}^0] \right) \quad (4.74)$$

Cette équation nous permet de déterminer la valeur numérique c_i^1 à l'abscisse x et à l'instant Δt .

L'équation de Saint Venant s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = -\bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} - 2c \frac{\partial c}{\partial x} + g(J_f - J) \quad (4.75)$$

Ou encore :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} \Delta t = -\frac{\Delta t}{\Delta x} \left[2c \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \Delta x - g(J_f - J) \Delta x \right] \quad (4.76)$$

Comme précédemment dans cette dernière équation $c, \bar{U}$ et $(J_f - J)$ sont les valeurs numériques des grandeur physiques prises au point $P(i,0)$. Introduisons les expressions des différentes dérivées partielles.

L'équation précédente s'écrit :

$$\bar{U}_i^1 - \bar{U}_i^0 = -\frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ c_i^0 [c_{i+1}^0 - c_{i-1}^0] + \frac{1}{2} \bar{U}_i^0 [\bar{U}_{i+1}^0 - \bar{U}_{i-1}^0] - g[J_f - J_i^0] \Delta x \right\} \quad (4.77)$$

Cette équation nous permet de trouver la valeur numérique $\bar{U}_i^1$ à l'abscisse x et à l'instant Δt . Il

nous reste à déterminer le module de la vitesse moyenne $\bar{U}_0^1$ à l'extrémité amont du canal et à l'instant Δt .

Pour ce faire nous allons utiliser l'équation aux dérivées partielles suivante :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + (\bar{U} - c) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} - 2 \frac{\partial c}{\partial t} - 2(\bar{U} - c) \frac{\partial c}{\partial x} = g(J_f - J) \quad (4.78)$$

Nous écrivons l'équation ci-dessus sous la forme suivante :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = -(\bar{U} - c) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + 2 \frac{\partial c}{\partial t} + 2(\bar{U} - c) \frac{\partial c}{\partial x} + g(J_f - J) \quad (4.79)$$

Multiplions les différents termes de l'équation précédente par Δt il vient :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} \Delta t = 2 \frac{\partial c}{\partial t} \Delta t - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[(\bar{U} - c) \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \Delta x - 2(\bar{U} - c) \frac{\partial c}{\partial x} \Delta x - g(J_f - J) \Delta x \right] \quad (4.80)$$

Introduisons les différentes expressions des dérivées partielles suivantes :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = \frac{\bar{U}_1^0 - \bar{U}_0^0}{\Delta x} \quad (4.81)$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_1^0 - c_0^0}{\Delta x} \quad (4.82)$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = \frac{\bar{U}_0^1 - \bar{U}_0^0}{\Delta t} \quad (4.83)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{c_0^1 - c_0^0}{\Delta t} \quad (4.84)$$

Les conditions initiales nous donnent les valeurs numériques des grandeurs $\bar{U}, c, (J_f - J)$. Les conditions aux limites à l'extrémité amont du canal nous donnent c_0^1 .

L'équation précédente s'écrit :

$$\bar{U}_0^1 - \bar{U}_0^0 = 2[c_0^1 - c_0^0] - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ [\bar{U}_0^0 - c_0^0][\bar{U}_1^0 - \bar{U}_0^0] - 2[\bar{U}_0^0 - c_0^0][c_1^0 - c_0^0] - g[J_f - J_0^0] \Delta x \right\} \quad (4.85)$$

Cette équation s'écrit :

$$\bar{U}_0^1 - \bar{U}_0^0 = 2[c_0^1 - c_0^0] - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ [\bar{U}_0^0 - c_0^0][\bar{U}_1^0 - \bar{U}_0^0 - 2c_1^0 + 2c_0^0] - g[J_f - J_0^0] \Delta x \right\} \quad (4.86)$$

Nous pouvons en déduire la valeur numérique $\bar{U}_0^1$, du module de la vitesse moyenne à l'extrémité amont du canal et à l'instant Δt .

A cette étape de calcul on va déterminer le module de la vitesse moyenne et la célérité des intumescences au point $P(i, j)$.

Écrivons les différentes dérivées partielles suivantes :

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = \frac{\bar{U}_{i+1}^{j-1} - \bar{U}_{i-1}^{j-1}}{2\Delta x} \quad (4.87)$$

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_{i+1}^{j-1} - c_{i-1}^{j-1}}{2\Delta x} \quad (4.88)$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = \frac{\bar{U}_i^j - \bar{U}_i^{j-1}}{\Delta t} \quad (4.89)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{c_i^j - c_i^{j-1}}{\Delta t} \quad (4.90)$$

La valeur numérique $c(i, j)$ s'obtiendra à partir de l'équation ci-après :

$$c_i^j - c_i^{j-1} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ \bar{U}_i^{j-1} [c_{i+1}^{j-1} - c_{i-1}^{j-1}] + \frac{1}{2} c_i^{j-1} [\bar{U}_{i+1}^{j-1} - \bar{U}_{i-1}^{j-1}] \right\} \quad (4.91)$$

La valeur numérique $\bar{U}_i^j$ s'obtient à partir de l'équation ci près :

$$\bar{U}_i^j - \bar{U}_i^{j-1} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ c_i^{j-1} [c_{i+1}^{j-1} - c_{i-1}^{j-1}] + \frac{1}{2} \bar{U}_i^{j-1} [\bar{U}_{i+1}^{j-1} - \bar{U}_{i-1}^{j-1}] - g [J_f - J_i^{j-1}] \Delta x \right\} \quad (4.92)$$

Il reste à déterminer le module de la vitesse moyenne au point $P(0, j)$. Il s'obtiendra à l'aide de l'équation :

$$\bar{U}_0^j - \bar{U}_0^{j-1} = 2[c_0^j - c_0^{j-1}] - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left\{ [\bar{U}_0^{j-1} - c_0^{j-1}] [\bar{U}_1^{j-1} - \bar{U}_0^{j-1} - 2c_1^{j-1} + 2c_0^{j-1}] - g [(J_f - J_0^{j-1})] \Delta x \right\} \quad (4.93)$$

Les accroissements Δx et Δt doivent choisis de telle manière que la caractéristique C^+ issue du point $P(i-1, j-1)$ et la caractéristique C^- issue du point $P(i+1, j-1)$ est assimilées dans ces intervalles à deux segments de droite se coupent en ayant le point $P(i, j)$ à l'intérieur de leur domaine local de dépendance.

IV.5. La prise en compte des conditions aux limites

La connaissance des seules conditions initiales ne suffit pas pour la résolution du problème de rupture instantanée d'un barrage et la détermination de $\bar{U}(x, t)$ et $y(x, t)$ en un point $P(i, j)$ quelconque du plan $x-t$, exigera la connaissance du tirant d'eau à l'extrémité aval du canal et à chaque instant.

La caractéristique C^+ a pour pente :

$$\frac{dx}{dt} = \bar{U} + c = c \left(1 + \frac{\bar{U}}{c} \right) = c(1 + F) > 0 \quad (4.48)$$

La caractéristique C^- a pour pente :

$$\frac{dx}{dt} = \bar{U} - c = -c \left(1 - \frac{\bar{U}}{c} \right) = -c(1 - F) > 0 \quad (4.49)$$

Les pentes des deux familles de caractéristiques sont toutes les deux positives. Cela signifie que toutes les grandeurs physiques qui caractérisent l'écoulement transitoire dans la section droite située à l'extrémité aval du canal sont déterminées par les seules conditions initiales de l'écoulement.

Pour une rupture instantanée du barrage on applique les conditions initiales et aux limites suivantes :

$$0 \leq x \leq l \quad F(x) > 1$$

Conditions initiales : $y(x,0)$ = hauteur d'eau initiale dans le barrage.

$$\bar{U}(x,0) = 0. \text{ (Puisque l'eau est initialement au repos).}$$

Conditions aux limites : $y(0,t)$ $\bar{U}(0,t)$.

IV.6. Rupture de barrage et schéma de Lax

IV.6.1. Discrétisation du domaine

Dans la méthode de différences finies, le canal est divisé en un certain nombre de tronçons, ayant une longueur Δx . La fin de chaque tronçon est appelée nœud de calcul. Si le canal est divisé en N tronçon, le premier nœud (en amont) sera numéroté 1, tandis que dernier nœud (en aval) sera numéroté $N + 1$, ces nœuds sont appelés nœuds de frontière, cependant les nœuds restants sont appelés nœuds intérieurs. Les calculs sont exécutés aux temps discrets. La différence entre deux instants consécutifs, est appelée, pas de temps. Ainsi, la division du plan (x,t) en un réseau de droites qui se coupent entre elles dans les nœuds de calculs, est nommée maillage [13].

La résolution du problème de rupture de barrage est possible grâce à l'utilisation des équations de Saint Venant unidimensionnelle ou filaire suivantes composées des équations de conservation de la masse et de quantité de mouvement :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(J_f - J) \quad (4.2)$$

Où, y représente la hauteur d'eau, $\bar{U}$ la vitesse de l'écoulement. Ces deux quantités dépendent chacune du temps t et de l'espace x .

En remplaçant les dérivées partielles des équations gouvernantes par des quotients aux différences finies on peut résoudre les équations algébriques résultantes à chaque point ou nœud du réseau, en supposant que les valeurs initiales de la vitesse et de la profondeur à $t = 0$ sont connus à partir des conditions initiales, on peut déterminer les valeurs inconnus au temps $t + \Delta t$.

Plusieurs schémas explicites ont été utilisés pour les écoulements instationnaires à surface libre dont le schéma de Lax diffusif pour lequel nous avons opté par le fait qu'il soit numériquement stable conditionnellement en fonction de la valeur du paramètre adimensionnel $\Delta t \leq \frac{\Delta x}{|U| + c} \leq 1.0$. Dans ce schéma, les dérivées partielles des équations gouvernantes

sont remplacées par des quotients de différences finies comme suit :

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{y_i^{j+1} - y_i^*}{\Delta t} \quad (4.94)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{y_{i+1}^j - y_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad (4.95)$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} = \frac{\bar{U}_i^{j+1} - \bar{U}_i^*}{\Delta t} \quad (4.96)$$

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} = \frac{\bar{U}_{i+1}^j - \bar{U}_{i-1}^j}{2\Delta x} \quad (4.97)$$

Où :

$$y_i^* = 0.5(y_{i-1}^j + y_{i+1}^j) \quad (4.98)$$

$$\bar{U}_i^* = 0.5(\bar{U}_{i-1}^j + \bar{U}_{i+1}^j) \quad (4.99)$$

IV.6.1.1. Discrétisation en espace

On discrétise les équations par un schéma centré en espace comme suit :

$$\frac{\partial y_i}{\partial t} = -\bar{U} \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} - y_i \frac{\bar{U}_{i+1} - \bar{U}_{i-1}}{2\Delta x} \quad (4.100)$$

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial t} = -\bar{U}_i \frac{\bar{U}_{i+1} - \bar{U}_{i-1}}{2\Delta x} - g \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta x} + g(J_f - J_i) \quad (4.101)$$

Pour une variable a , $a_i = a(x_i)$ où $x_i = i \cdot \Delta x$. Cette équation n'est applicable que pour les nœuds qui ne sont pas aux bords, mais comme dans tout problème aux limites on connaît les bords donc le problème de Riemann peut être résolu.

De plus :

$$J_i = \frac{|\bar{U}_i| \bar{U}_i}{(Rh)_i^{4/3}} n^2 \quad (4.102)$$

Où :

n : Coefficient de Manning.

IV.6.1.2. Discrétisation en temps

On utilise un schéma explicite c'est à dire que l'on connaît $\bar{U}$, y et J_e à l'instant j , et on les cherche à l'instant $j+1$.

$$y_i^{j+1} = y_i^* + \Delta t \left[-\bar{U}_i^j \frac{y_{i+1}^j - y_{i-1}^j}{2\Delta x} - y_i^j \frac{\bar{U}_{i+1}^j - \bar{U}_{i-1}^j}{2\Delta x} \right] \quad (4.103)$$

$$\bar{U}_i^{j+1} = \bar{U}_i^* + \Delta t \left[-\bar{U}_i^j \frac{\bar{U}_{i+1}^j - \bar{U}_{i-1}^j}{2\Delta x} - g \frac{y_{i+1}^j - y_{i-1}^j}{2\Delta x} + g(J_f - J_i^{j+1}) \right] \quad (4.104)$$

$$J_i^{j+1} = \frac{|\bar{U}_i^{j+1}| \bar{U}_i^{j+1}}{((Rh)_i^{4/3})^{j+1}} n^2 \quad (4.105)$$

On pose :

$$\Gamma^{-1} = \frac{n^2}{((Rh)_i^{4/3})^{j+1}} g \Delta t$$

Multipliant l'équation (4.104) par Γ^{-1} , on aboutit à l'équation suivante :

$$[\bar{U}_i^{j+1}]^2 + \Gamma [\bar{U}_i^{j+1}] - \Gamma \beta = 0 \quad (4.106)$$

Où :

$$\beta = \left[\bar{U}_i^* - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \bar{U}_i^j \frac{\bar{U}_{i+1}^j - \bar{U}_{i-1}^j}{2\Delta x} - \frac{g \Delta t}{2\Delta x} \frac{y_{i+1}^j - y_{i-1}^j}{2\Delta x} + g \Delta t J_f \right]$$

C'est une équation quadratique en $\bar{U}_i^{j+1}$ et il en résulte :

$$\bar{U}_i^{j+1} = \frac{1}{2} \left[-\Gamma + (\Gamma^2 + 4\Gamma\beta)^{1/2} \right] \quad (4.107)$$

IV.6.2. Conditions à l'extrémité amont

A la limite amont on admet que $\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{y_{i+1}^j - y_i^j}{\Delta x}$, donc l'équation (4.103) dont la profondeur est modifiée et ne contient que des termes avec les indices i et $i+1$ devient [14]:

$$y_i^{j+1} = y_i^j + \frac{\Delta t}{\Delta x} [\bar{U}_i^j (y_i^j - y_{i+1}^j) + y_i^j (\bar{U}_i^j - \bar{U}_{i+1}^j)] \quad (4.108)$$

La vitesse peut être ensuite obtenue avec la formule $U_i^{j+1} = \frac{Q_i^{j+1}}{S_i^{j+1}}$.

Où : S_i^{j+1} surface mouillée correspondant à la profondeur y_i^{j+1} .

IV.6.3. Conditions a la limite aval

Pour l'extrémité aval du canal, la situation est l'inverse de celle en amont. En admettant que $\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{y_i - y_{i-1}}{\Delta x}$ l'équation (4.103) dont la profondeur est modifiée et ne contenant que des termes avec les indices i et $i-1$ s'écrit quand à elle comme suit:

$$y_i^{j+1} = y_i^j + \frac{\Delta t}{\Delta x} [\bar{U}_i^j (y_{i-1}^j - y_i^j) + y_i^j (\bar{U}_i^j - \bar{U}_{i-1}^j)] \quad (4.109)$$

IV.6.4. Stabilité du schéma

C'est d'habitude nécessaire dans les schémas de différence finis explicite que le rapport de Δx et Δt satisfait a une condition de stabilité. Un schéma est stable si une erreur présentée dans la solution n'augmente pas quant les calculs progressent dans le temps, Et on dit que le schéma est instable si l'erreur est amplifiée avec le temps. Dans le cas de schéma instable l'erreur est amplifiée très rapidement et masque la vraie solution après quelques intervalles de temps.

Pour que le schéma de Lax sera stable, le pas de temps et le pas d'espace doivent satisfaire la condition suivante, appelé condition de stabilité de courant :

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{|U| + c} \quad (4.110)$$

CHAPITRE V
APPLICATION ET
CONCLUSION GENERALE

CHAPITRE. V. APPLICATION ET CONCLUSION GENERALE

V.1. Présentation du programme de calcul

V.1.1. Introduction

Lors d'une rupture de barrage, une onde se propage à l'aval le long du canal pouvant entraîner des submersions importantes. Le programme de calcul « Rupture Barrage » que nous avons élaboré en Delphi vise à donner un ordre de grandeur des niveaux atteints dans un tel canal.

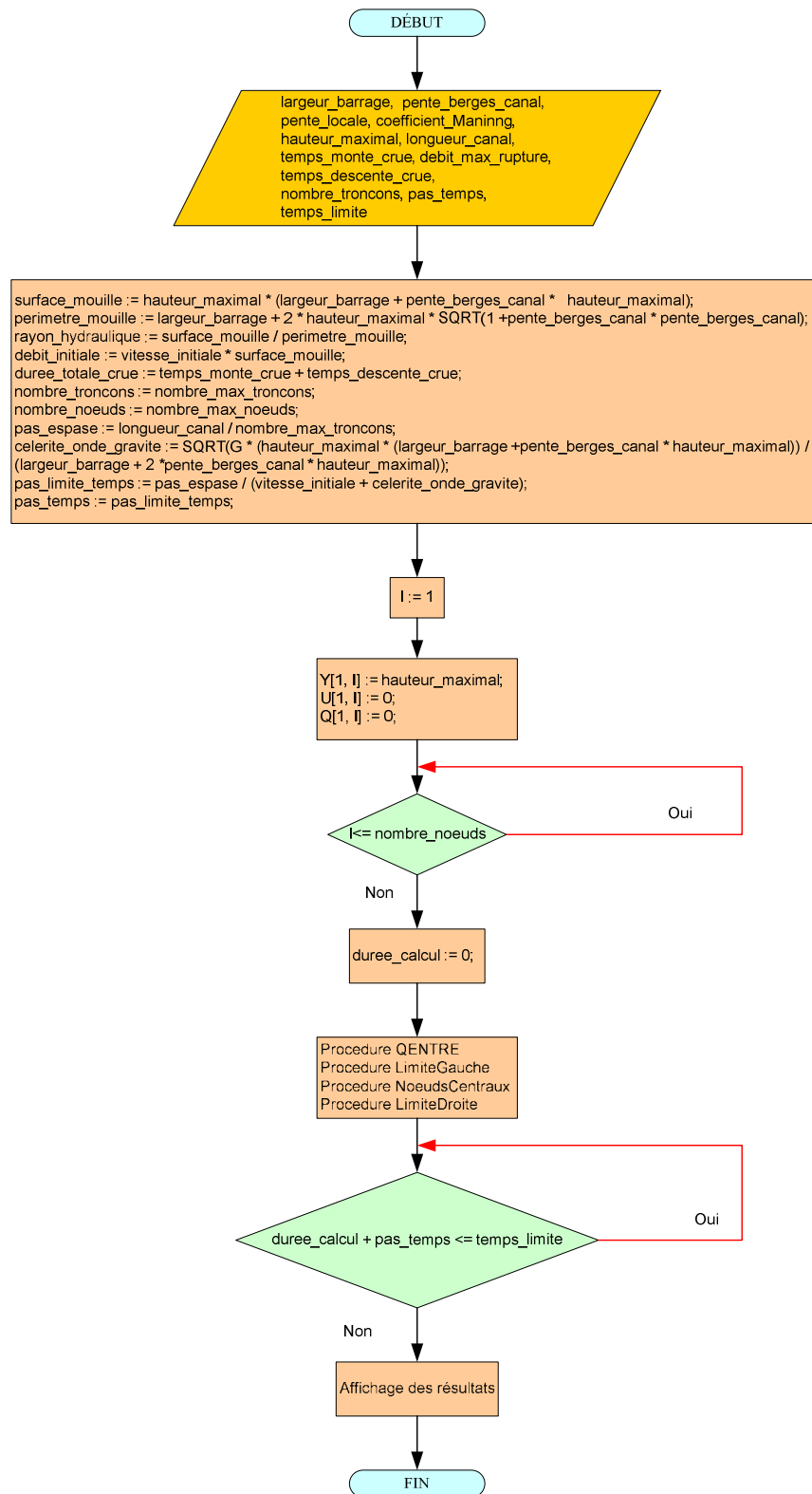
Les informations qui sont fournies au programme « Rupture Barrage » sont la hauteur d'eau dans le barrage ainsi que la largeur de ce dernier, la longueur, la pente et la rugosité du canal qui permettent d'estimer le débit, la vitesse, la hauteur ainsi que la célérité de l'onde aux différents points du canal que l'utilisateur peut choisir pour obtenir les résultats. Le programme « Rupture Barrage » est adapté aux ruptures instantanées. L'utilisateur doit donc fournir le débit maximal au droit du barrage. Dans le cas qui nous concerne nous avons préféré la formule de Ritter (2.1) pour l'estimation du débit maximal de rupture pour la forme rectangulaire de la brèche de rupture.

En un point donné du canal, le programme de calcul effectue les calculs suivants :

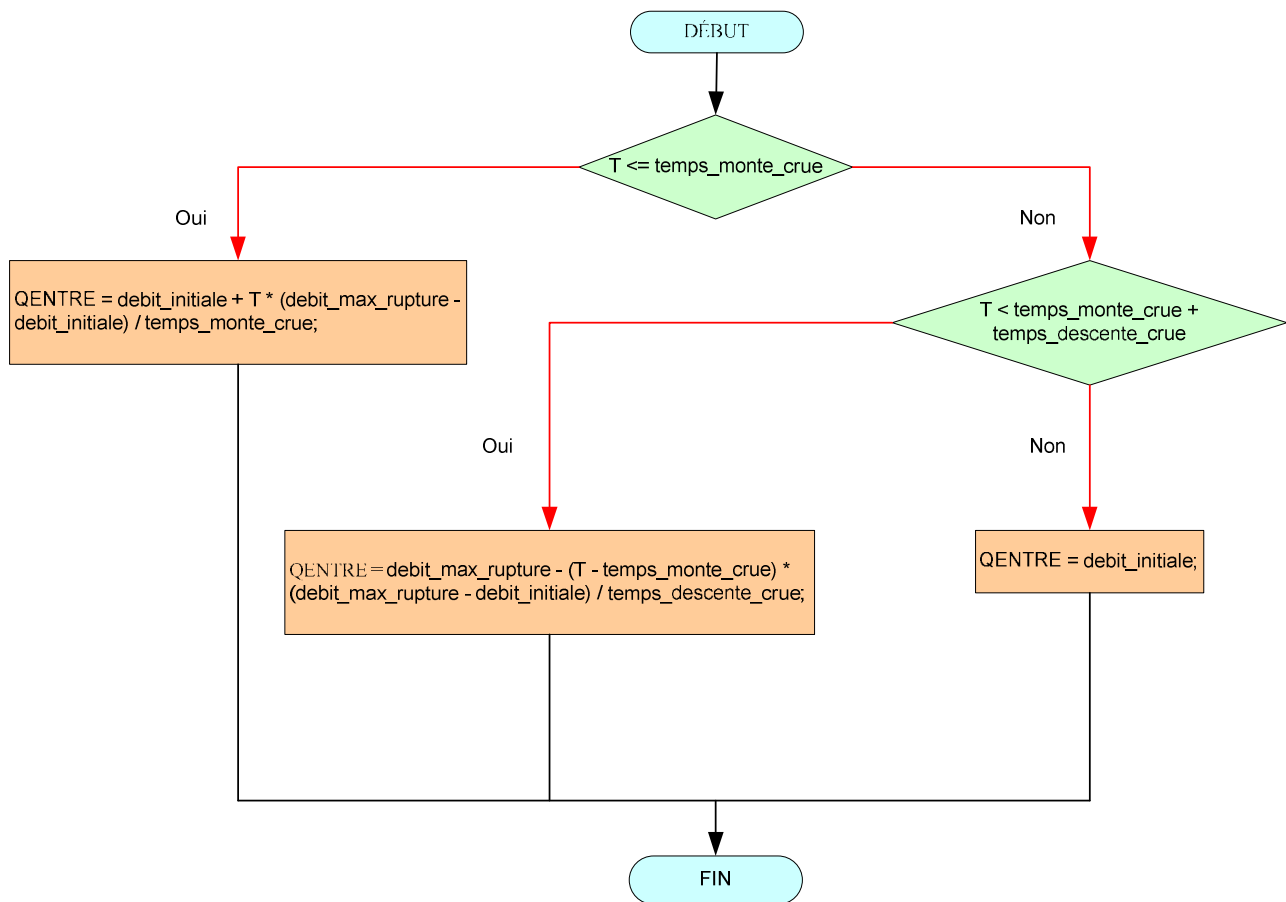
- Calcul du débit entrant au droit du barrage à l'aide d'un hydrogramme de crue de rupture
- Calcul de la hauteur d'eau atteinte au pied du barrage à partir de l'équation (4.108), puis la vitesse grâce à l'hypothèse du régime uniforme ensuite la célérité.
- Calcul de la hauteur d'eau atteinte à l'extrémité aval du canal à partir de l'équation (4.109), puis la vitesse grâce à l'hypothèse du régime uniforme ensuite le débit et la célérité.
- Calcul de la hauteur d'eau ainsi que la vitesse, atteintes pour les nœuds intérieurs du canal à partir des équations (4.103) et (4.107), puis le calcul du débit et de la célérité des ondes due à la rupture.
- Les résultats sont très dépendants des hypothèses envisagées lors du choix des différents paramètres (Coefficient de Manning, pente, hauteur d'eau initiale dans le barrage largeur du barrage...). Dans ce contexte, un résultat faible ne peut venir que de l'utilisation répétée du logiciel sur un même problème.
- Il est à noter également que certains cas sont, a priori, exclus, tels que:
 - ✓ La présence de singularités (topographie ou ouvrage en travers) très marquées.
 - ✓ Les écoulements qui ne peuvent plus être considérés comme monodimensionnels.
 - ✓ Les cas où l'érosion ou le transport solide modifient fortement les conditions d'écoulement.
 - ✓ Les ruptures de barrages progressive ou en cascade.

V.1.2. Structure du programme de calcul

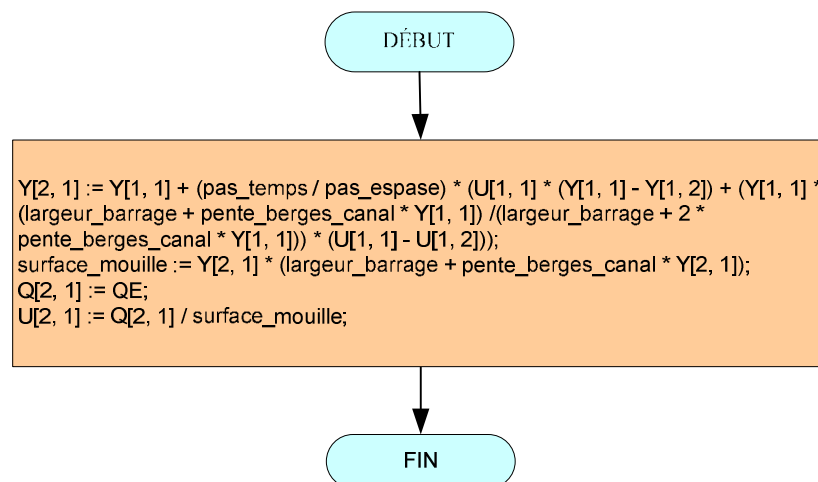
V.1.2.1. Organigramme du programme de calcul



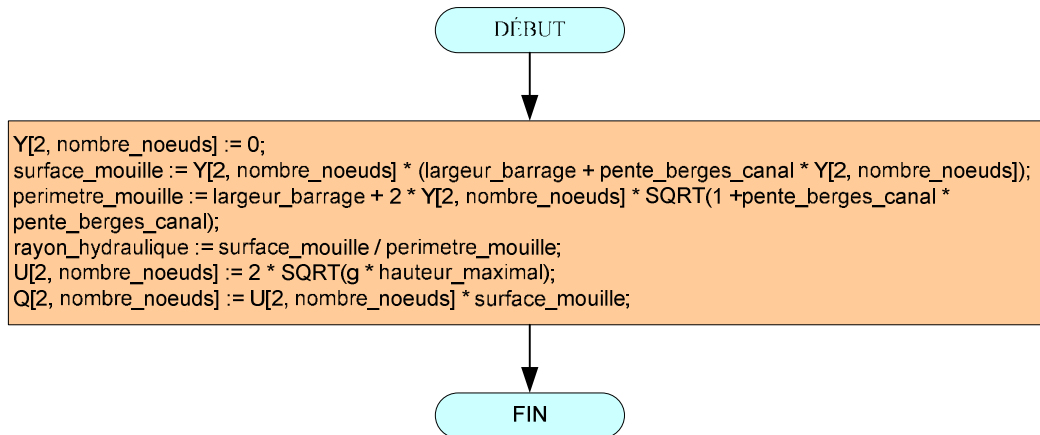
V.1.2.2. Sous programme pour le calcul de débit entrant



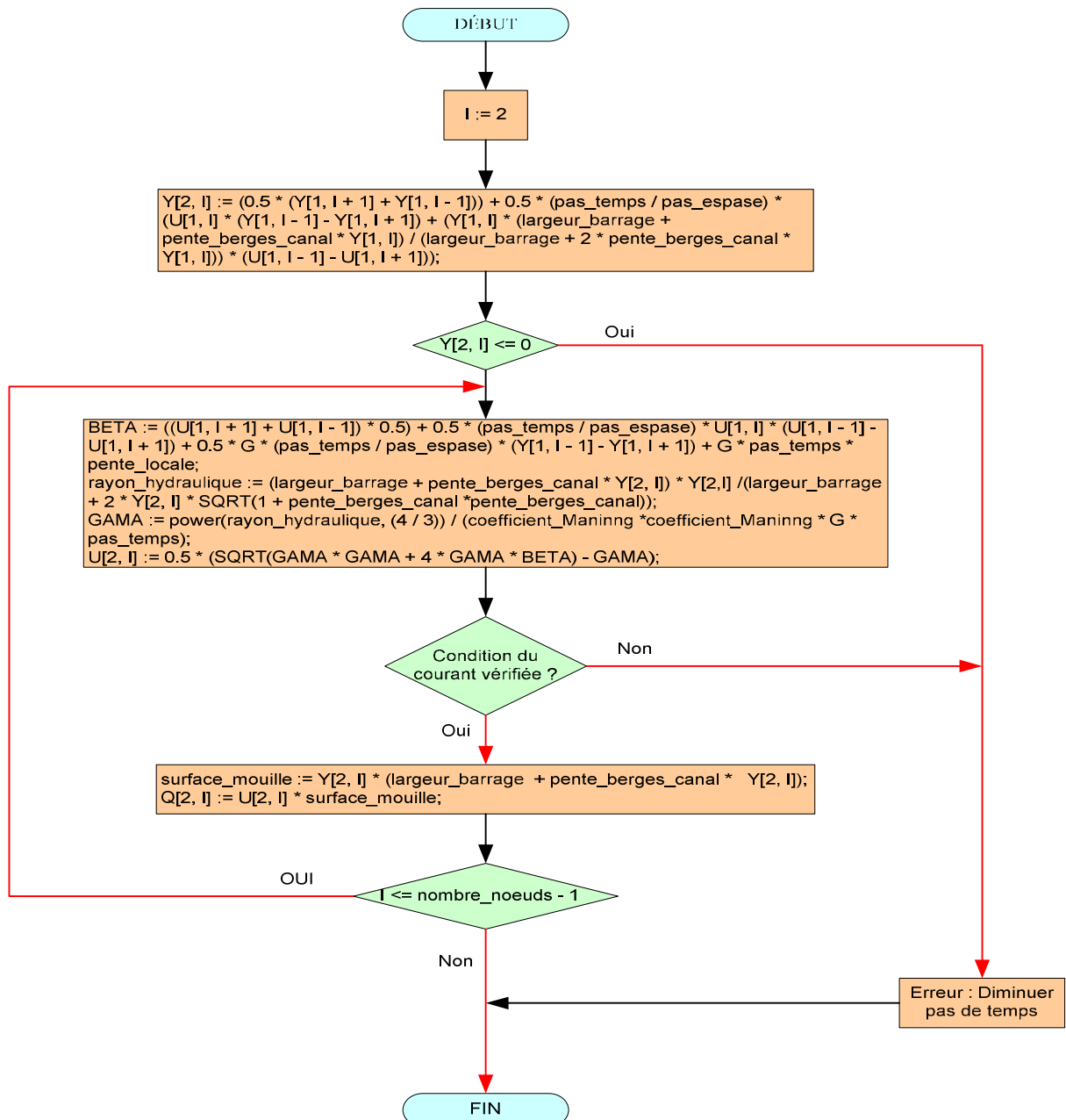
V.1.2.3. Sous programme pour la limite amont



V.1.2.4. Sous programme pour la limite aval



V.1.2.5. Sous programme pour les points intérieurs



V.2. Présentation de la zone d'étude

V.2.1. Barrage de Boukerdoune

V.2.1.1. Situation géographique du barrage

Le barrage de Boukerdoune est situé sur l'oued El Hachem qui est le produit de confluence des oueds Boukadir et Fedjana, à environ 1.3 km du sud du village de Sidi Amar, wilaya de Tipaza. Les coordonnées du site du barrage sont les suivant [15]:

$$X = 437.8km ; Y = 4043.1km ; Z = 70m .$$

V.2.1.2. Situation géologique du site du barrage

Le site du barrage de Boukerdoune est constitué d'un massif de roche hypo volcanique de type doléritiques. Selon les sondages effectués, la légende concernant la synthèse est comme suit :

- Alluvions.
- Zone d'altération des dolérites.
- Dolérites pourries.
- Dolérites tendres et dolérites dures.

Les alluvions se présentent dans la vallée avec une profondeur très variables peuvent atteindre jusqu'à 20 m. les éléments prédominants dans la géologie du site sont les suivants :

- L'hétérogénéité foncière et généralisée du massif de dolérite.
- La grande altération en argile qui l'affecte assez souvent.
- La nature des alluvions et les altérations argileuses des dolérites qui peuvent influencer sur la stabilité de l'ouvrage.

Quand les alluvions argileuses sont saturées d'eau, sur l'effet des pressions hydrodynamiques et sismiques, ils deviennent susceptibles de se transformer en fluide visqueux (phénomène de liquéfaction), se qui engendre des tassements préjudiciables pour le barrage et ses ouvrages annexes.

V.2.1.3. Situation hydrogéologique

Selon l'étude piézométrique, la nappe se trouvant sur le site du barrage suit le mouvement général de la nappe phréatique, sa profondeur est de l'ordre de 20m. On note aussi l'existence d'un fort gradient de pression au pied de la rive droite du barrage, qui fait apparaître une source à une côte de 85 m.

V.2.1.4. Sismicité

Suivant l'échelle microscopique internationale d'intensité sismique, le barrage de Boukerdoune tombe dans une zone de forte sismicité (III). L'accélération maximale du sol dans le site du barrage est de l'ordre de $300cm/s^2$.

V.2.1.5. Caractéristiques générales du barrage

- Hauteur maximale 55 m.
- Longueur en crête 609.7m.
- Largueur en crête 10 m.
- Largueur maximale au niveau du terrain naturel 367.62 m.

V.2.2. Caractéristique du canal

- longueur du canal égale à 14737.29m .
- pente du canal égale à 0.001 .
- coefficient de Manning égale à 0.05

V.3. Débit maximal a l'instant de rupture

Le débit maximal à l'instant de rupture qui est fonction de la géométrie du barrage a été obtenu par la formule de Ritter,

V.4. Résultats

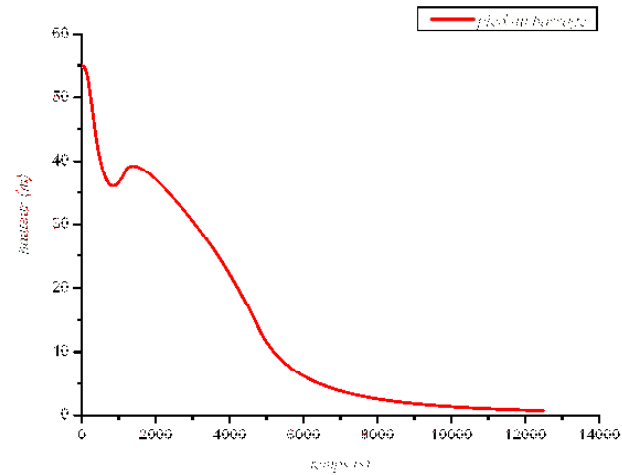


Figure 5. 1 Variation de la hauteur au pied du barrage.

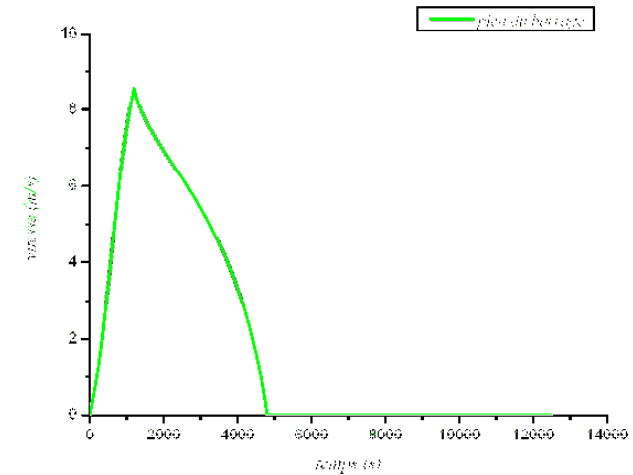


Figure 5. 3 Variation de la vitesse au pied du barrage.

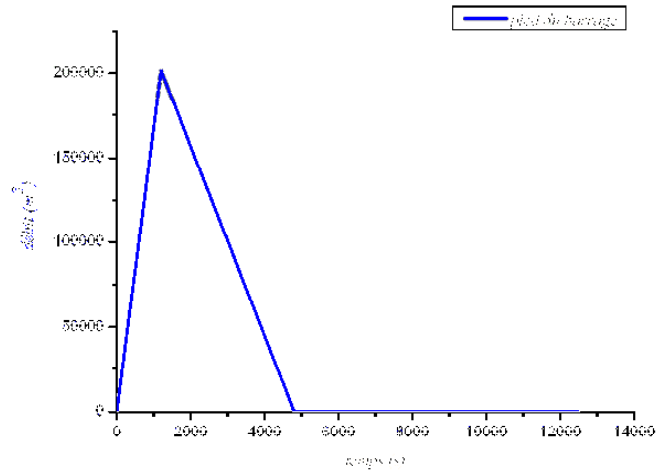


Figure 5. 2 Variation du débit au pied du barrage.

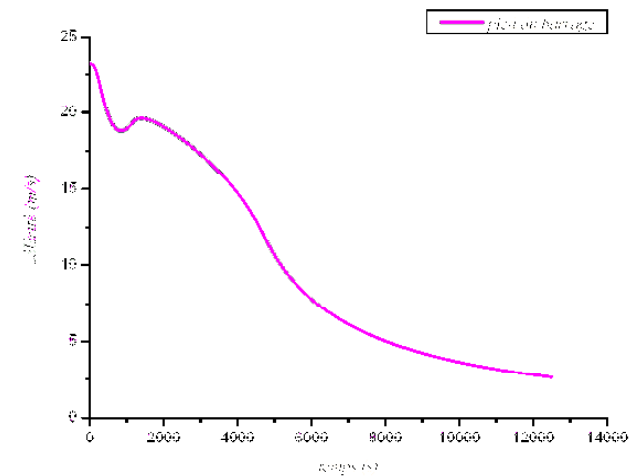


Figure 5. 4 Variation de la célérité au pied du barrage.

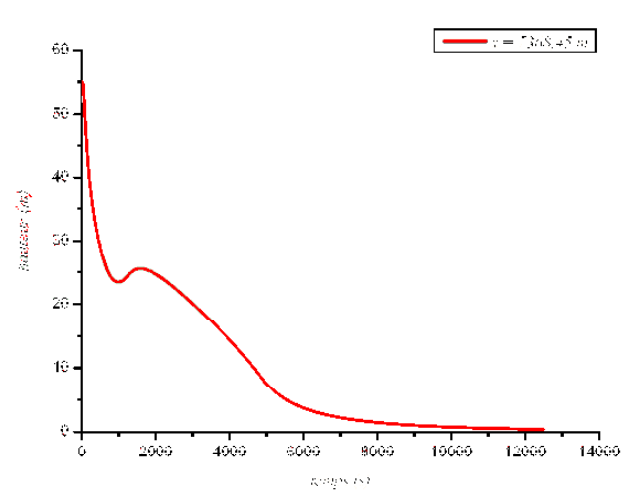


Figure 5.5 Variation de la hauteur à $x = 7368.645$ m du barrage.

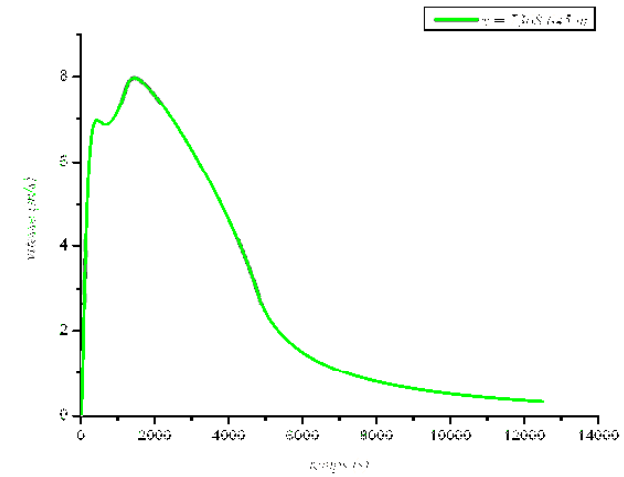


Figure 5.7 Variation de la vitesse à $x = 7368.645$ m du barrage.

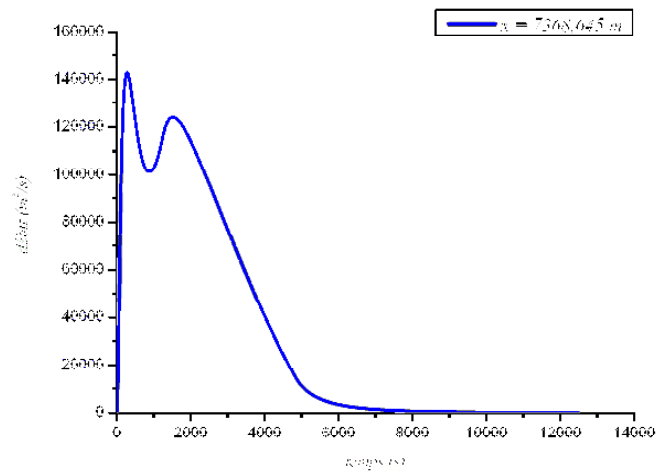


Figure 5.6 Variation du débit à $x = 7368.645$ m du barrage.

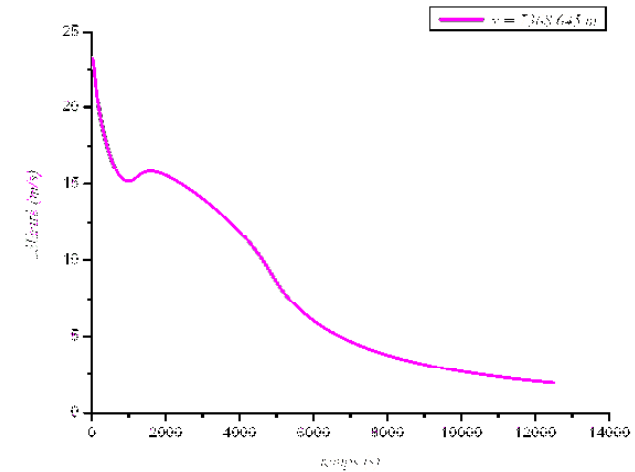


Figure 5.8 Variation de la célérité de l'onde de rupture à $x = 7368.645$ m du barrage.

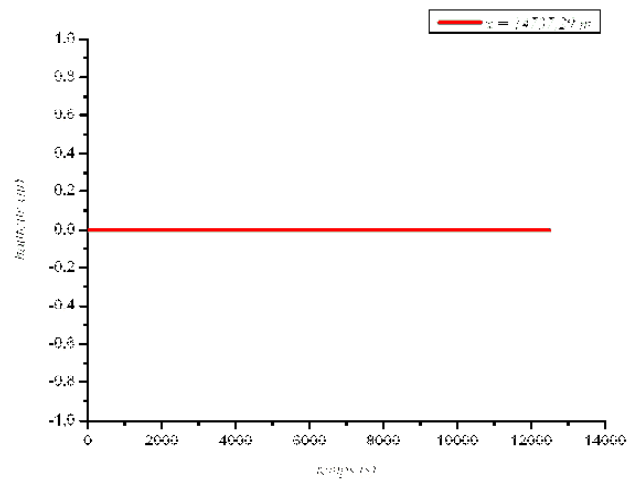


Figure 5. 9 Variation de la hauteur à $x = 14737.29$ m du barrage.

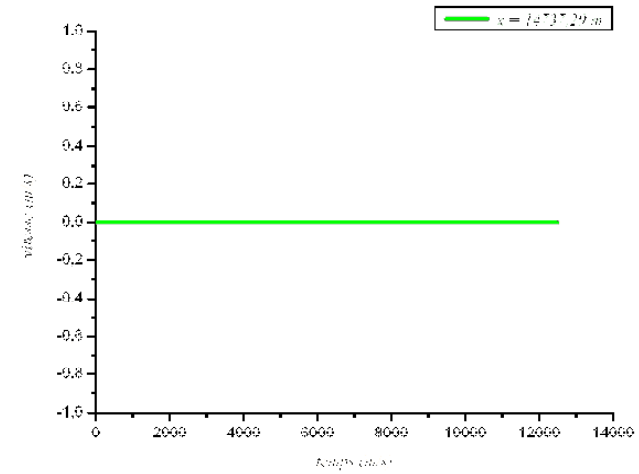


Figure 5. 11 Variation de la vitesse à $x = 14737.29$ m du barrage.

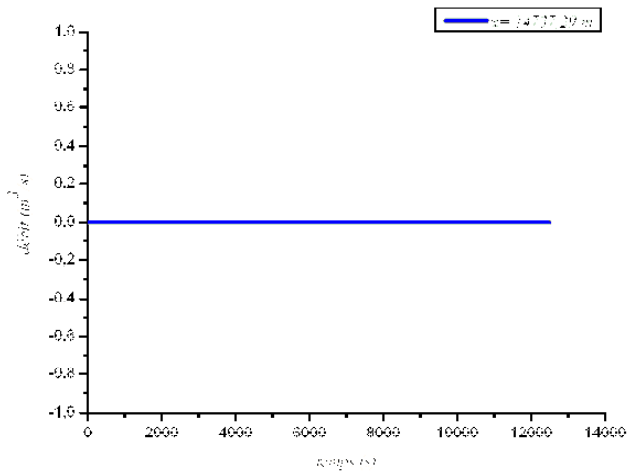


Figure 5. 10 Variation du débit à $x = 14737.29$ m du barrage.

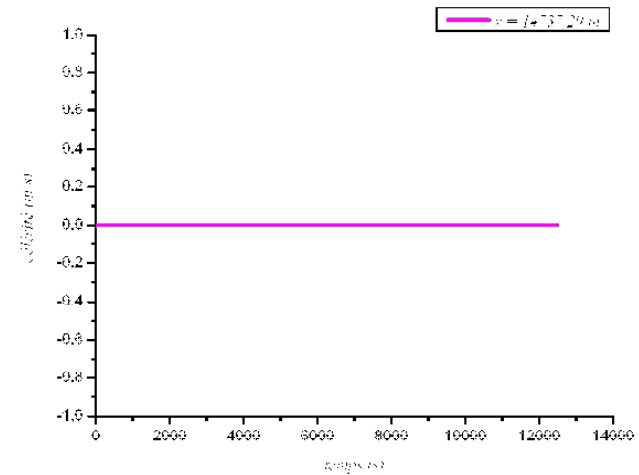
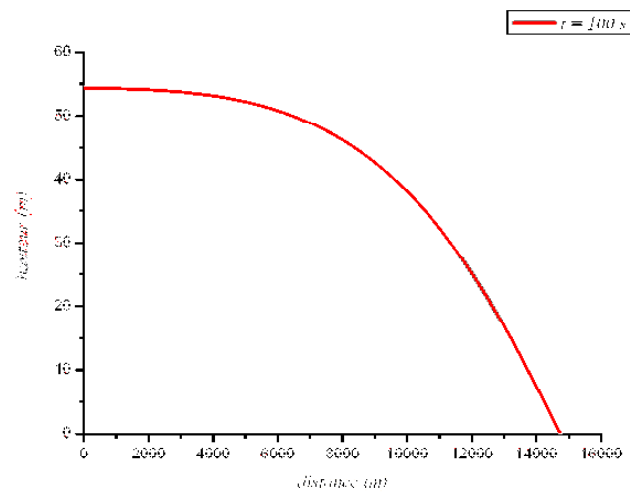
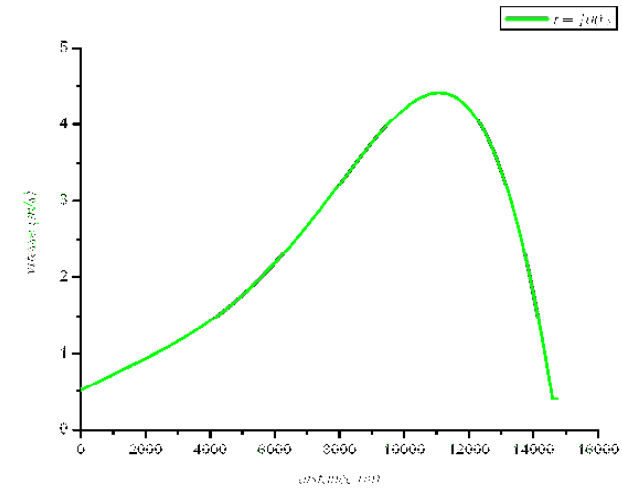
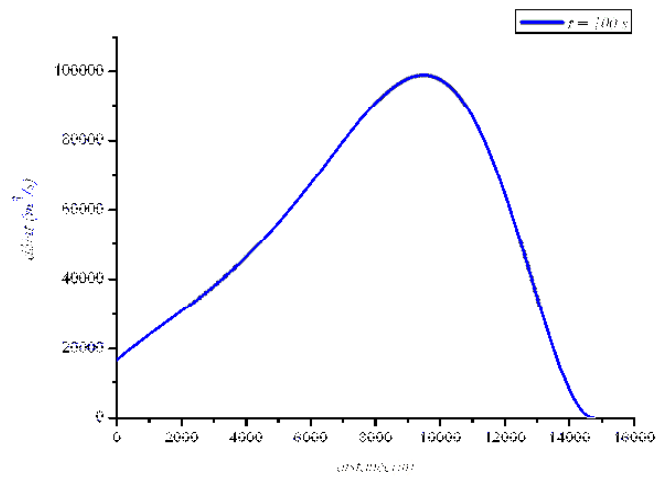
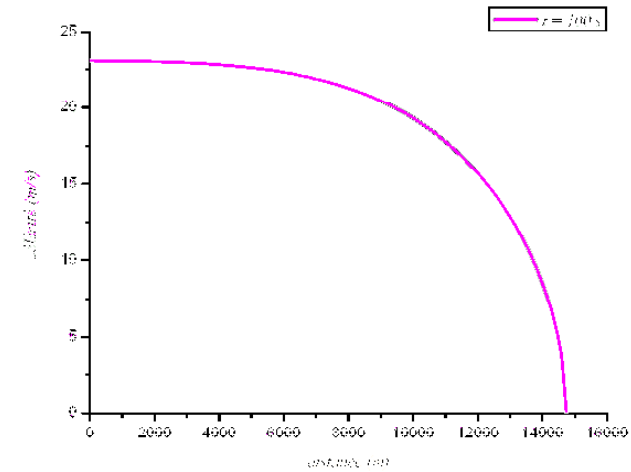
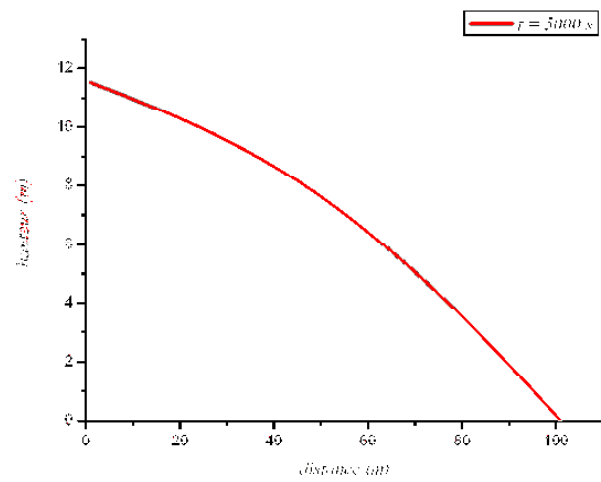
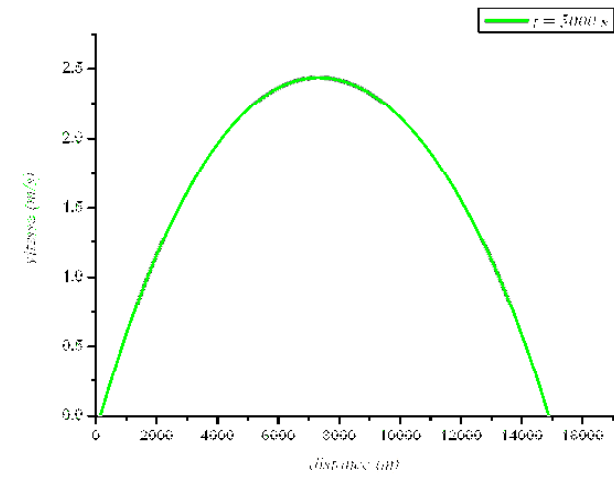
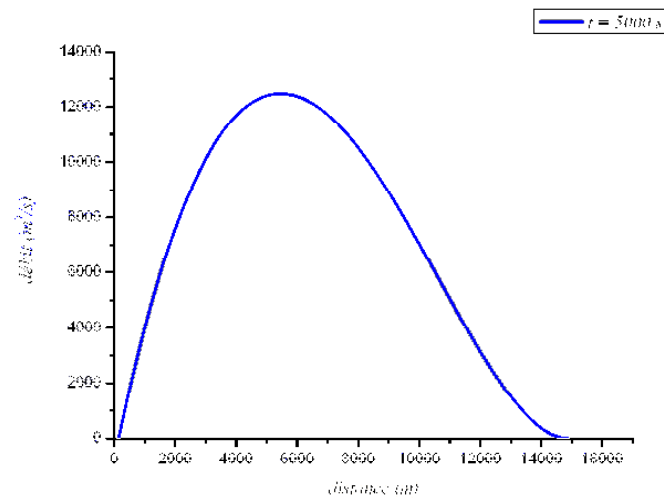
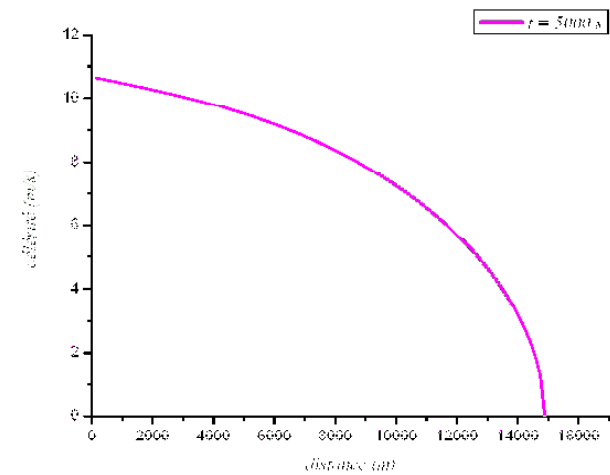
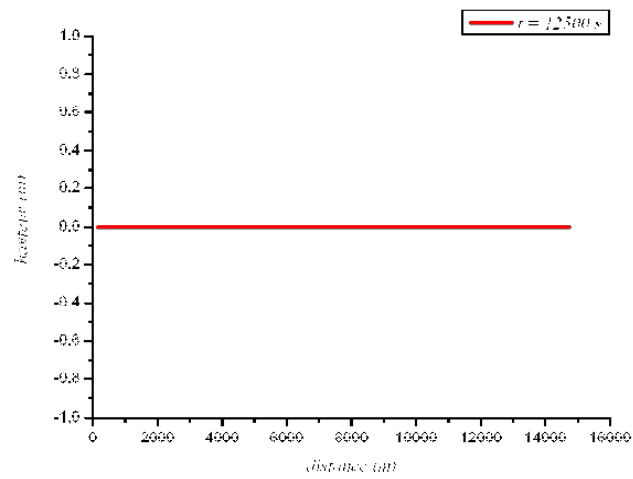
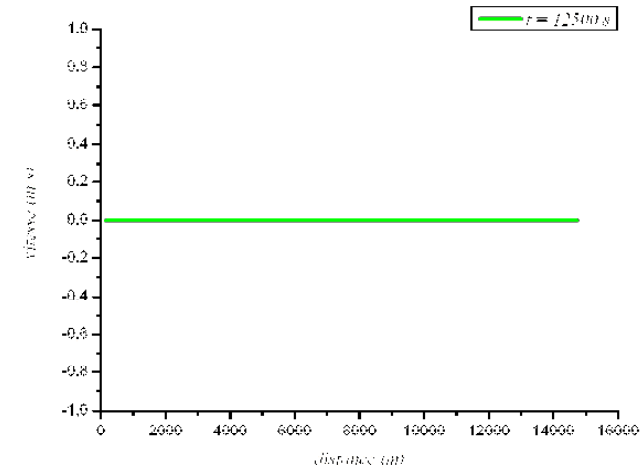
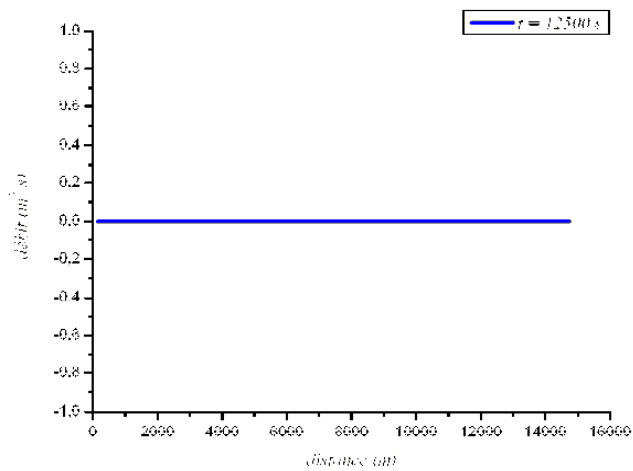
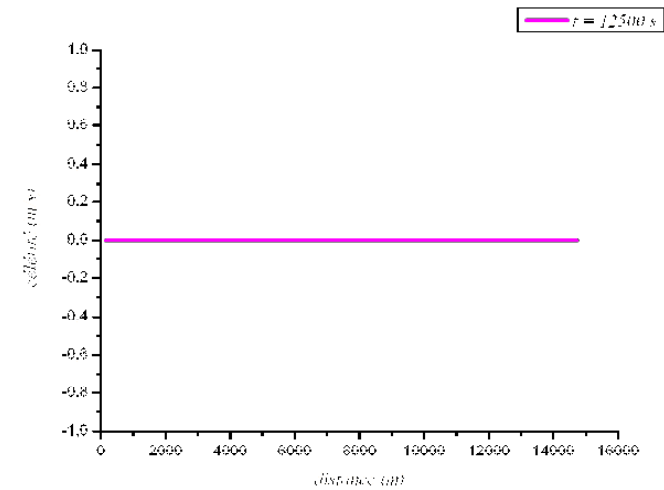


Figure 5. 12 Variation de la célérité à $x = 14737.29$ m du barrage

Figure 5.13 Variation de la hauteur à $t = 100$ s.Figure 5.15 Variation de la vitesse à $t = 100$ s.Figure 5.14 Variation du débit à $t = 100$ s.Figure 5.16 Variation de la célérité à $t = 100$ s.

Figure 5. 17 Variation de la hauteur à $t = 5000$ s.Figure 5. 19 Variation de la vitesse à $t = 5000$ s.Figure 5. 18 Variation du débit à $t = 5000$ s.Figure 5. 20 Variation de la célérité à $t = 5000$ s.

Figure 5. 21 Variation de la hauteur à $t = 12500$ s.Figure 5. 23 Variation de la vitesse à $t = 12500$ s.Figure 5. 22 Variation du débit à $t = 12500$ s.Figure 5. 24 Variation de la célérité à $t = 12500$ s

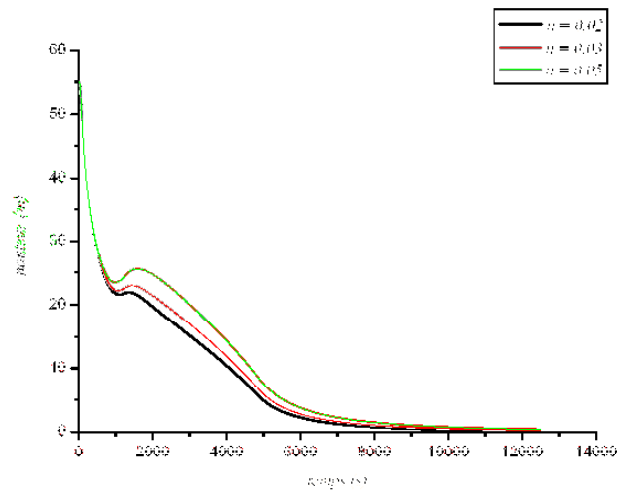


Figure 5. 25 Influence de n sur y $x = 7368.645$ m.

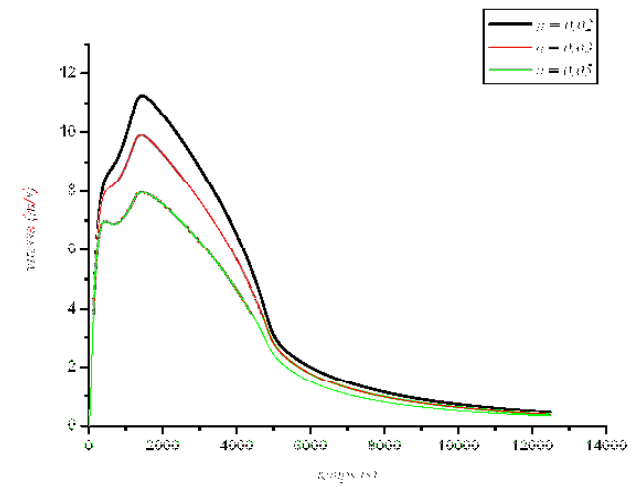


Figure 5. 26 Influence de n sur la vitesse $x = 7368.645$ m.

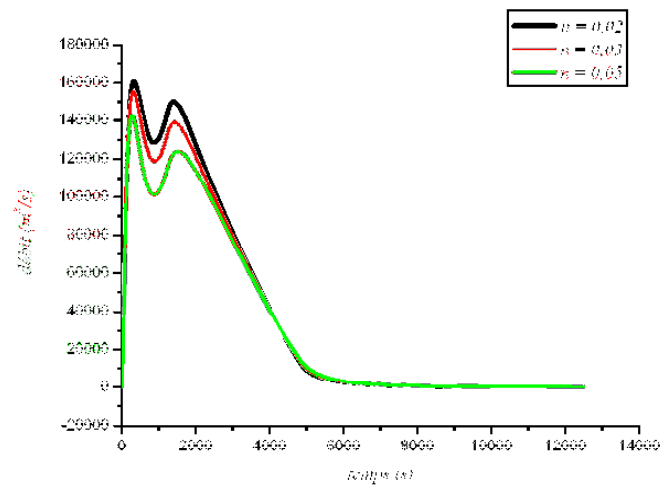


Figure 5.27 Influence de n sur le débit $x = 7368.645$ m.

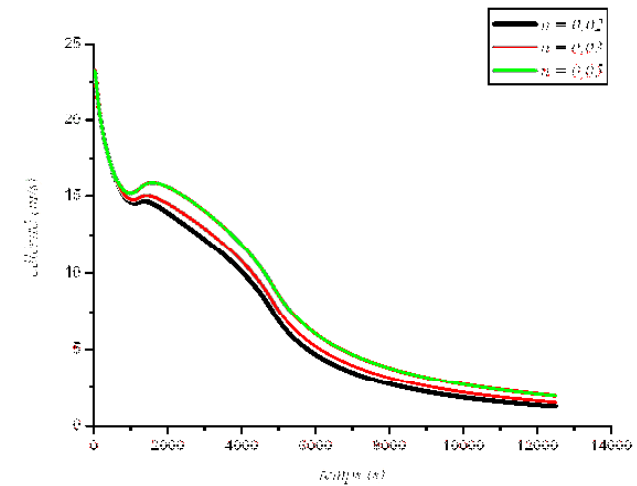


Figure 5. 27 Influence de n sur la célérité $x = 7368.645$ m

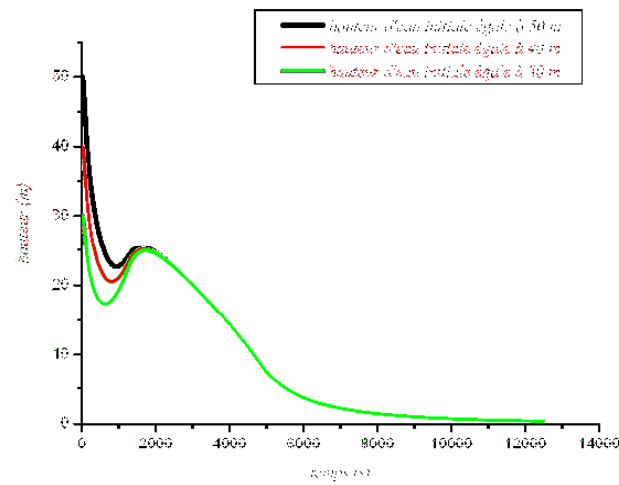


Figure 5. 28 Influence de la hauteur de remplissage sur la hauteur d'eau $x = 7368.645$ m.

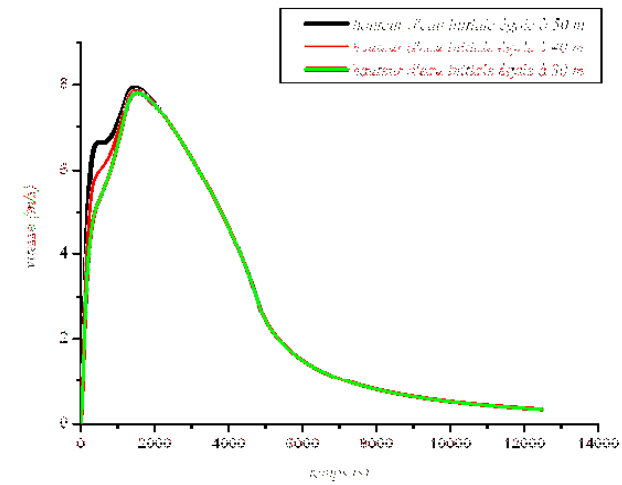


Figure 5. 30 Influence de la hauteur de remplissage sur la vitesse $x = 7368.645$ m.

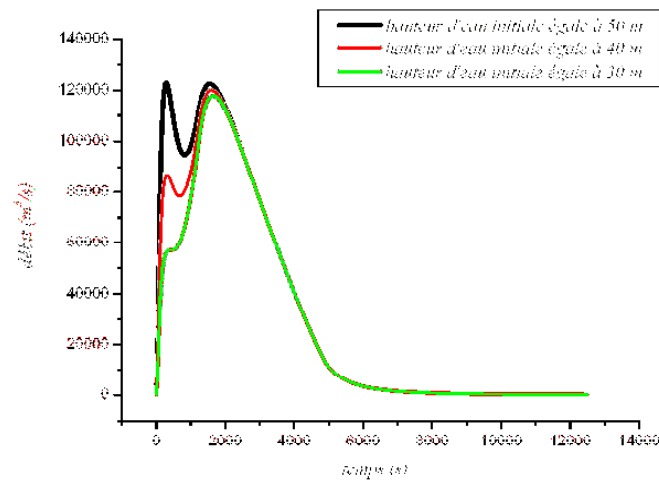


Figure 5. 29 Influence de la hauteur de remplissage sur le débit $x = 7368.645$ m.

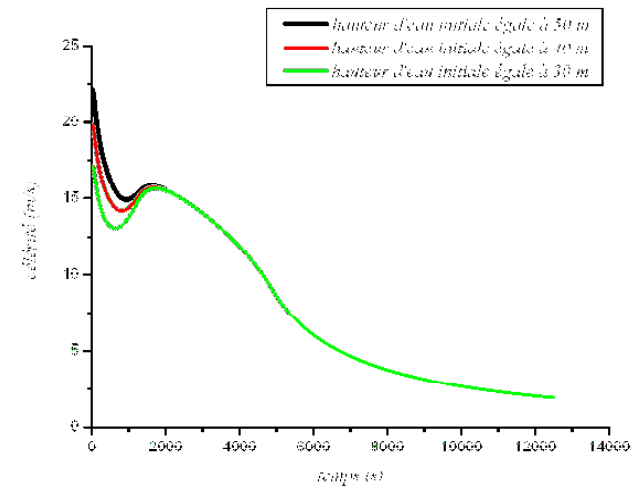
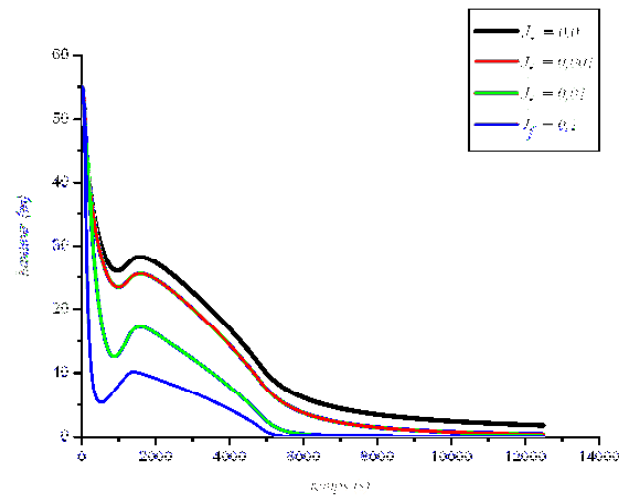
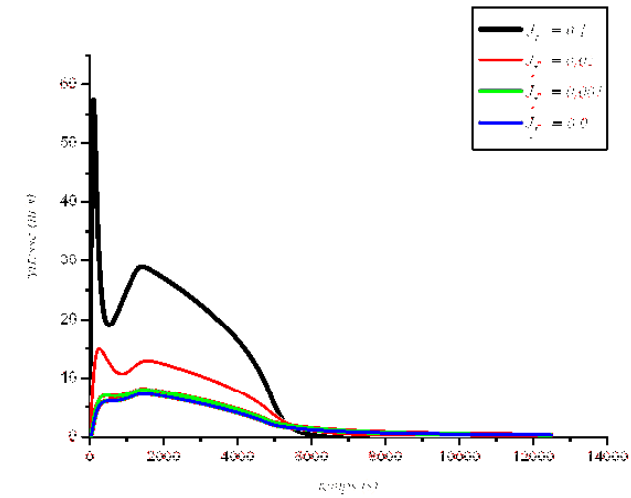
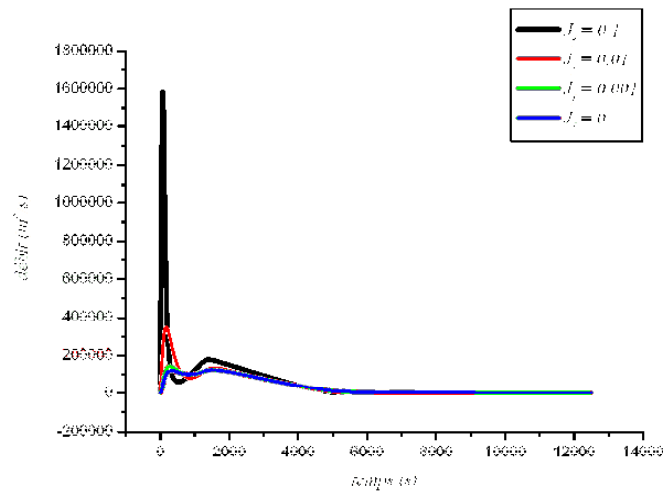
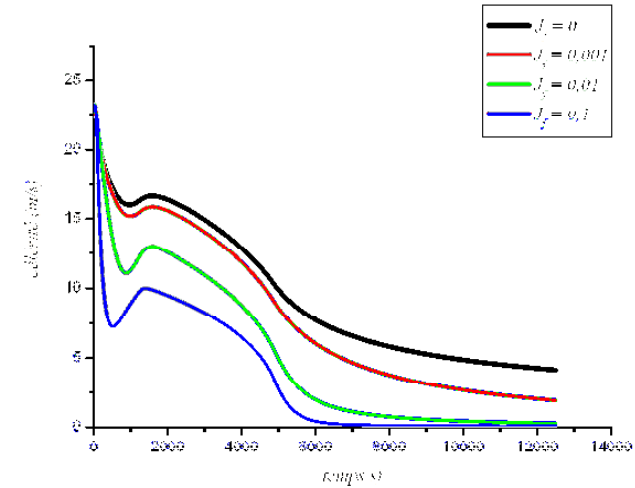


Figure 5. 31 Influence de la hauteur de remplissage sur la célérité $x = 7368.645$ m

Figure 5.32 Influence de la pente sur la hauteur d'eau $x = 7368.645$ m.Figure 5.34 Influence de la pente sur la vitesse $x = 7368.645$ m.Figure 5.33 Influence de la pente sur le débit $x = 7368.645$ m.Figure 5.35 Influence de la pente sur la célérité $x = 7368.645$ m.

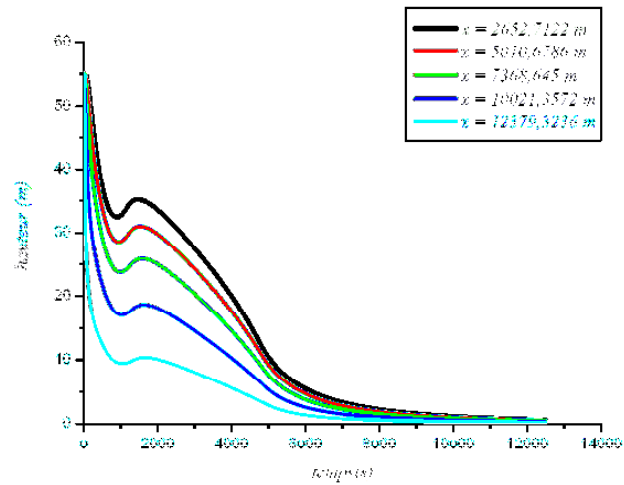


Figure 5.36 Atténuation de la hauteur d'eau.

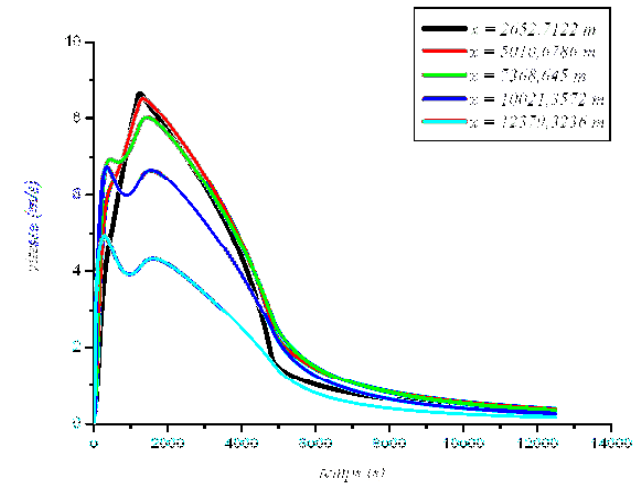


Figure 5.38 Atténuation de la vitesse d'écoulement.

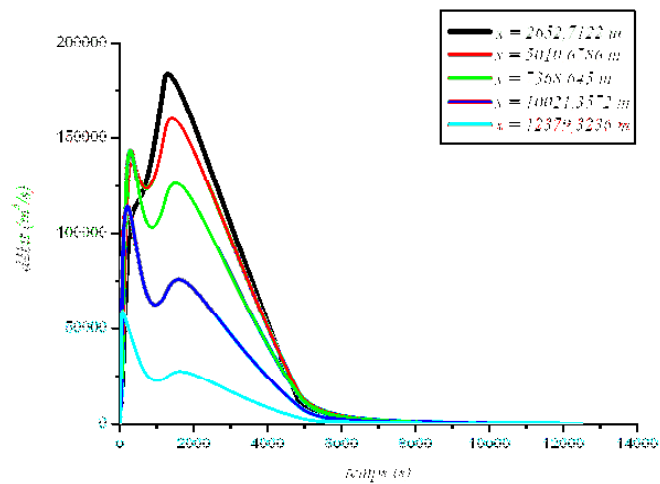


Figure 5.37 Atténuation des débits.

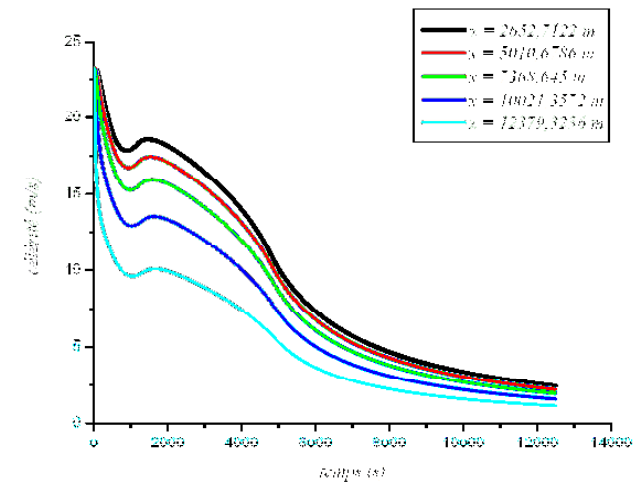


Figure 5.39 Atténuation de la célérité de l'onde de rupture.

V.4.1. Interprétation des résultats

Au vu des résultats des simulations obtenus à l'aide du programme de calcul élaboré en Delphi le barrage peut constituer, en cas de rupture, un réel danger pour toutes les infrastructures de quelque type que ce soit ainsi que pour les populations qui se trouvent à l'aval du barrage. L'approche de la problématique la plus précise, nécessitant le moins de données sur les crues est celle qui repose sur la modélisation numérique des équations de St Venant. Dans ces équations, les inconnues étant la vitesse et la hauteur d'eau, et pour réaliser la modélisation mathématique, nous avons procédé par le découpage du canal étudié en plusieurs sections de calcul, et grâce au schéma numérique utilisé, en l'occurrence la méthode des différences finies, on a remplacé le système aux dérivées partielles par un système algébrique qui nous a permis de calculer des valeurs approchées des vitesses et des hauteurs d'eau.

Dans la présente étude, relative à une rupture instantanée, et comme le montre les figures ci-dessus notamment celles des hauteurs, des vitesses ou des débits (fig5.1 jusqu'à 5.24), ainsi que la célérité des ondes et compte tenu de la variation de la pente, de la rugosité des parois et des hauteurs de remplissage induisant des charges dynamiques variables, au temps $t = 1390.1$ s et au pied du barrage étudié, la zone aval se trouve brusquement submergée. La hauteur d'eau et le débit atteignent des valeurs respectives de 39.2136 m et 190808.2 m³/s, la vitesse est de l'ordre de 7.980 m/s, la célérité de l'onde quand à elle, atteint une valeur de 19.6134 m/s, ce qui traduit le caractère très violent et énergétique ($F = \frac{\bar{U}}{c} \approx 2.0$) de l'écoulement dont les conséquences sur la forme du canal seront irréversiblement très dévastatrices. A $X = 7368.645$ m et au temps toujours égal à 1590.1 s, nous observons une très forte augmentation des débits et des vitesses au détriment de la hauteur qui a diminuée approximativement de 13.63031 m. Cette diminution s'explique par l'effet du frottement des parois ayant engendrées une perte de charge relativement importante. Enfin au temps $t = 3.47$ heures et à la distance $x = 14737.29.0$ m tous les paramètres hydrauliques de l'écoulement s'annulent par le fait de la perte de puissance hydraulique de l'écoulement.

Les niveaux d'eau calculés en tous points à l'aval du barrage dépendent particulièrement du facteur de résistance utilisé, en l'occurrence le coefficient de Manning n pour caractériser le lit actif du canal (fig. 25 jusqu'à 36). Plus la résistance à l'écoulement et les pertes de charge linéaires et locales sont importantes plus la vitesse de propagation de la crue diminue entraînant par conséquent un niveau d'inondation plus élevé et une érosion plus importante.

Il convient de noter que les résultats des simulations obtenus sont dépendants de la condition frontière utilisée à la limite du domaine qui est $Q_{\max}$ de la rupture obtenu par la formule de Ritter.

Les simulations réalisées sur les écoulements générés par une rupture hypothétique du barrage de Boukerdoune, et compte tenu de leur énergie dynamique semblent indiquer que la propagation de la crue résultante s'accompagne toujours d'un arrachement et d'un transfert de sédiments majeurs dans certaines parties du canal aval engendrant des modifications physiques importantes dans la géométrie du canal. Dans les zones à pentes faibles ou nulles donc favorables au dépôt des matériaux charriés puisque la puissance hydraulique décroît, les niveaux d'eau maximaux observés et calculés sont dus particulièrement aux rehaussements du fond du canal.

La stabilité et la sécurité des ouvrages hydrauliques ainsi que du comportement des réservoirs sont fortement dépendant du calcul de la propagation de l'onde de rupture en aval de ces ouvrages. Pour le schéma de rupture initialement retenu c'est-à-dire une rupture instantanée, celui-ci permet de dresser un portrait hydraulique des crues de rupture que l'ouvrage pourrait engendrer. Ce schéma nous a fourni une grande quantité d'information, qui concerne les écoulements instationnaires, calculés en plusieurs points du canal à l'aval du barrage de Boukerdoune. La durée des simulations peut atteindre des heures si l'on veut atteindre le vidange totale de la retenue pour connaître le moment où la situation hydraulique aura retrouvé la normalité, du moins en apparence.

Les ondes de rupture comme l'indique les (fig. 37 jusqu'à 40.) s'atténuent progressivement en se déplaçant du pied aval du barrage, c'est-à-dire à la distance $x = 2653\text{m}$, atteignant aux temps $t = 2000\text{s}$ la valeur maximale de 35m , pour aller complètement s'éteindre en fin de parcours à $x = 14737.29\text{ m}$. Les autres caractéristiques hydrodynamiques de l'écoulement subissent elles aussi le même processus à savoir une diminution à la sortie du barrage et une extinction totale à la fin.

V.4.2. Conclusion générale

Les études de rupture constituent des éléments fondamentaux de l'analyse de sécurité d'un barrage. Elles fournissent un portrait assez précis des écoulements qui doivent se propager vers l'aval, des zones d'inondation réceptrices des ondes de rupture et du temps que devrait faire cette onde pour arriver aux zones dont l'inondation pourrait engendrer des conséquences très dommageables. Elles visent à permettre la réalisation d'ouvrages de protection du type endiguement, recalibrage et rescindement faisant en sorte que les crues générés par la rupture ne modifient pas la géométrie du canal à travers leurs effets érosifs ainsi que l'organisation de mesures d'urgence à même de protéger les populations et les biens contre les inondations.

Souvent, les études de rupture donnent la possibilité de collecter des données pouvant couvrir la retenue et son aval. Ces données, relatives à la topographie et la bathymétrie sont souvent utilisées par les modèles numériques. S'agissant d'une source fiable qui transmet aux différents codes de calcul des

données sûres et cohérentes avec le degré de précision requis par les calculs, nous nous sommes nous même servi de ces données pour exécuter les calculs relatifs au barrage de Boukerdoune. En eux mêmes, ces calculs sont maintenant simples et peu coûteux à exécuter.

Les résultats des études de rupture sont très utiles pour la sécurité des ouvrages. Ils doivent par conséquent être exploités de manière optimale pour sécuriser au maximum ces ouvrages contre les crues pouvant causer leurs destructions. La sécurité des populations riveraines dépend de la qualité de l'information qu'elles reçoivent. Il convient d'interpréter les résultats numériques ou graphiques comme ceux présentés dans cette étude et de les transmettre en évitant toute ambiguïté, mais en tenant compte des limites scientifiques inhérentes aux études.

Références bibliographiques

- [1] Nathalie Blanc, Grands barrages et habitants, France, Maison des Sciences de l'Homme, 24 avril 2008
- [2] Luis Berga ; Art Walz ; Michel de Vivo, Les barrages et l'eau dans le monde, Paris, Commission Internationale des Grands Barrages (CIGB), juin 2007.
- [3] Giret Alain, Géographie de l'Écoulement Fluvial, Paris, Harmattan, 2007
- [4] Jean Maurice Durand, Paul Royet, Patrice Mériaux, Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, France, Cemagref, 1999
- [5] F.Lempérière et J.P.Vigny Economie et sécurité des déversoirs de Burkina Faso 1^{er} congrès national des barrages du Burkina Faso
- [6] Claude Marche, Barrages crues de rupture et protection civile, France, Presses Internationales Polytechnique, 2008.
- [7] Gérard Degoutte, Etudes Hydraulique agricole, France, Cemagref, 1999.
- [8] E.D. ZERROUK ; C.MARCHE, Les prévisions des brèches de rupture des barrages en terre restent difficiles, Revue canadienne de génie civil, vol 28, 2001.
- [9] Olivier Brivois, Contribution à la modélisation de forte pente par un écoulement turbulent diphasique, Thèse doctorat, Laboratoire de mécanique et d'acoustique, Marseille, 2005.
- [10] Marc Soutter ; André Mermoud ; André Musy ; Ingénierie des eaux et du sol, Presses Polytechniques Romandes, 2007.
- [11] CFBR, Sécurité des digues fluviales et de navigation, Cemagref, 2005.
- [12] Ralph A. Wurbs, Computer Models for Water-Resources Planning and Management, Diane Publishing Co, 1994.
- [13] J. A. Cunge, Simulation des écoulements non permanents dans les rivières et canaux, Ecole nationale supérieure d'hydraulique et de mécanique, Grenoble, 1991.
- [14] Walter Graf; M Altinakar , Hydraulique fluviale, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004.
- [15] INRH, Tipaza.

Annexe

Tableau A.1 Résultats de calcul selon t

Temps (s)	Hauteur (m)	Vitesse (m/s)	Débit (m ³ /s)	Célérité (m/s)	Hauteur (m)	Vitesse (m/s)	Débit (m ³ /s)	Célérité (m/s)	Hauteur (m)	Vitesse (m/s)	Débit (m ³ /s)	Célérité (m/s)
$X = 0 \text{ m}$					$X = 7368.645 \text{ m}$					$X = 14737.29 \text{ m}$		
0,1	55	0	0	23,2282162	55	0,000981	32,89636	23,22822	0	0	0	0
10,1000004	54,9822845	0,05007547	1678,66492	23,224474	54,99997	0,099084	3322,615	23,22821	0	0	0	0
20,1000004	54,9495583	0,10021058	3357,32983	23,2175617	54,97219	0,204856	6866,048	23,22234	0	0	0	0
30,1000004	54,9073601	0,15043139	5035,99463	23,2086449	54,73178	0,369483	12329,63	23,17151	0	0	0	0
40,0999985	54,8578224	0,20075633	6714,65967	23,1981735	54,15714	0,626447	20685,04	23,04955	0	0	0	0
50,0999985	54,8020592	0,25120077	8393,32422	23,1863804	53,31052	0,957943	31136,42	22,86867	0	0	0	0
60,0999985	54,7400398	0,30178243	10071,9893	23,1732559	52,3001	1,333144	42510,45	22,65092	0	0	0	0
70,0999985	54,6701317	0,3525297	11750,6543	23,1584549	51,21339	1,726823	53919,71	22,41436	0	0	0	0
80,0999985	54,5890999	0,40348914	13429,3193	23,1412849	50,10841	2,121974	64828,63	22,17123	0	0	0	0
90,0999985	54,4926949	0,45472834	15107,9834	23,120842	49,02025	2,508078	74960,55	21,92917	0	0	0	0
100,099998	54,3764687	0,50633365	16786,6484	23,0961723	47,96875	2,879013	84201,18	21,69271	0	0	0	0
110,099998	54,2364311	0,55840516	18465,3145	23,066412	46,96412	3,231465	92529,85	21,46434	0	0	0	0
120,099998	54,0694847	0,61105007	20143,9785	23,0308857	46,01071	3,563861	99976,02	21,24535	0	0	0	0
130,100006	53,8736382	0,66437739	21822,6426	22,9891357	45,10936	3,875678	106593,5	21,03623	0	0	0	0
140,100006	53,6479912	0,71849275	23501,3086	22,9409409	44,25883	4,167021	112445,4	20,83697	0	0	0	0
150,100006	53,3926392	0,77349532	25179,9727	22,8862801	43,45676	4,43835	117596,7	20,64729	0	0	0	0
160,100006	53,1085281	0,8294754	26858,6387	22,8253078	42,70014	4,690327	122109,3	20,46676	0	0	0	0
170,100006	52,7972603	0,88651347	28537,3027	22,7583199	41,98571	4,923717	126040,7	20,29482	0	0	0	0
180,100006	52,4609184	0,94467932	30215,9668	22,6857147	41,31015	5,139335	129443,4	20,13088	0	0	0	0
190,100006	52,1019325	1,00403202	31894,6328	22,6079617	40,67019	5,338014	132364,7	19,97435	0	0	0	0
200,100006	51,722908	1,06462061	33573,2969	22,5255795	40,06274	5,520589	134847,3	19,82462	0	0	0	0
210,100006	51,3265572	1,1264838	35251,9609	22,4391079	39,48486	5,68789	136929,8	19,68112	0	0	0	0
220,100006	50,9155769	1,18965161	36930,6289	22,3490906	38,93386	5,840734	138647,2	19,54332	0	0	0	0
230,100006	50,4926071	1,25414526	38609,293	22,2560654	38,40726	5,97993	140031,5	19,4107	0	0	0	0
240,100006	50,0601768	1,319978	40287,957	22,1605587	37,9028	6,106266	141111,8	19,2828	0	0	0	0
250,100006	49,6206627	1,38715589	41966,6211	22,0630608	37,41845	6,220521	141915,1	19,1592	0	0	0	0
260,100006	49,1762772	1,45567858	43645,2852	21,9640446	36,95239	6,323452	142466,6	19,03951	0	0	0	0
270,100006	48,7290649	1,52553964	45323,9531	21,863945	36,50301	6,415798	142789,3	18,92339	0	0	0	0
280,100006	48,2808723	1,59672713	47002,6172	21,7631664	36,06886	6,498281	142904,9	18,81052	0	0	0	0

290,100006	47,8333817	1,66922438	48681,2813	21,662075	35,64869	6,571597	142833,7	18,70063	0	0	0	0
300,100006	47,3880882	1,74301004	50359,9453	21,5610104	35,24137	6,63642	142594,5	18,59349	0	0	0	0
310,100006	46,9463196	1,81805885	52038,6094	21,4602757	34,84596	6,693401	142205,2	18,48888	0	0	0	0
320,100006	46,5092545	1,89434206	53717,2773	21,3601456	34,46159	6,743162	141682,2	18,38663	0	0	0	0
330,100006	46,077919	1,97182727	55395,9414	21,2608662	34,08756	6,786298	141040,9	18,28658	0	0	0	0
340,100006	45,6532059	2,05047965	57074,6055	21,1626549	33,72322	6,823376	140295,7	18,18859	0	0	0	0
350,100006	45,2358742	2,13026118	58753,2695	21,0657043	33,36803	6,854935	139460,1	18,09255	0	0	0	0
360,100006	44,8265839	2,21113205	60431,9336	20,9701881	33,02153	6,881484	138546,5	17,99837	0	0	0	0
370,100006	44,4258842	2,29304957	62110,6016	20,8762531	32,68333	6,903504	137566,3	17,90596	0	0	0	0
380,100006	44,0342293	2,37597013	63789,2656	20,7840271	32,35309	6,921447	136530,3	17,81527	0	0	0	0
390,100006	43,6520042	2,45984769	65467,9297	20,6936264	32,03052	6,935736	135448,1	17,72624	0	0	0	0
400,100006	43,2795029	2,54463506	67146,5938	20,6051426	31,71538	6,946767	134328,7	17,63882	0	0	0	0
410,100006	42,9169731	2,63028359	68825,2578	20,5186615	31,40746	6,954909	133180,4	17,55298	0	0	0	0
420,100006	42,5645866	2,71674371	70503,9219	20,4342499	31,10659	6,960504	132010,7	17,4687	0	0	0	0
430,100006	42,222477	2,80396461	72182,5859	20,351965	30,81262	6,96387	130826,4	17,38597	0	0	0	0
440,100006	41,8907318	2,89189506	73861,2578	20,2718544	30,52542	6,965301	129633,6	17,30475	0	0	0	0
450,100006	41,5693932	2,98048282	75539,9219	20,1939526	30,24489	6,965067	128438	17,22505	0	0	0	0
460,100006	41,2584763	3,06967521	77218,5859	20,1182919	29,97093	6,963418	127244,5	17,14686	0	0	0	0
470,100006	40,9579697	3,1594193	78897,25	20,0448914	29,70347	6,960583	126057,6	17,07018	0	0	0	0
480,100006	40,6678238	3,24966145	80575,9141	19,9737663	29,44244	6,956769	124881,4	16,99501	0	0	0	0
490,100006	40,3879814	3,34034824	82254,5781	19,9049263	29,18777	6,952168	123719,3	16,92135	0	0	0	0
500,100006	40,1183586	3,43142605	83933,2422	19,8383751	28,93942	6,946954	122574,6	16,84921	0	0	0	0
510,100006	39,8588638	3,52284122	85611,9063	19,7741108	28,69732	6,941283	121450	16,77858	0	0	0	0
520,099976	39,6093864	3,6145401	87290,5703	19,7121296	28,46145	6,9353	120347,9	16,70948	0	0	0	0
530,099976	39,3698006	3,70646977	88969,2344	19,6524239	28,23174	6,929132	119270,4	16,64192	0	0	0	0
540,099976	39,1399841	3,79857683	90647,9063	19,5949802	28,00817	6,922894	118219,4	16,57589	0	0	0	0
550,099976	38,919796	3,89080906	92326,5703	19,5397854	27,79068	6,916693	117196,3	16,51141	0	0	0	0
560,099976	38,7090988	3,98311448	94005,2344	19,4868221	27,57924	6,91062	116202,5	16,44848	0	0	0	0
570,099976	38,50774	4,07544088	95683,8984	19,4360733	27,37381	6,904757	115239,1	16,3871	0	0	0	0
580,099976	38,3155746	4,16773844	97362,5625	19,387516	27,17435	6,899179	114307	16,32729	0	0	0	0
590,099976	38,1324463	4,25995636	99041,2266	19,3411293	26,98081	6,89395	113406,9	16,26904	0	0	0	0
600,099976	37,9582024	4,35204554	100719,891	19,2968903	26,79315	6,889126	112539,3	16,21237	0	0	0	0
610,099976	37,7926826	4,44395733	102398,555	19,2547722	26,61133	6,884759	111704,7	16,15726	0	0	0	0
620,099976	37,6357384	4,53564501	104077,219	19,2147503	26,43531	6,88089	110903,5	16,10374	0	0	0	0
630,099976	37,4872093	4,62706089	105755,883	19,176796	26,26503	6,877557	110135,7	16,05179	0	0	0	0
640,099976	37,3469429	4,71816063	107434,555	19,1408863	26,10044	6,874791	109401,6	16,00142	0	0	0	0
650,099976	37,2147789	4,80889988	109113,219	19,106987	25,94151	6,87262	108701	15,95262	0	0	0	0

660,099976	37,0905647	4,89923525	110791,883	19,0750732	25,78817	6,871065	108034,1	15,90541	0	0	0	0
670,099976	36,9741478	4,98912573	112470,547	19,0451145	25,64038	6,870145	107400,6	15,85976	0	0	0	0
680,099976	36,8653793	5,07852983	114149,211	19,0170803	25,49808	6,869874	106800,3	15,81569	0	0	0	0
690,099976	36,7641068	5,16740942	115827,875	18,990942	25,36122	6,870264	106233,1	15,77319	0	0	0	0
700,099976	36,6701813	5,25572681	117506,539	18,9666672	25,22975	6,871323	105698,7	15,73225	0	0	0	0
710,099976	36,5834618	5,3434453	119185,203	18,9442272	25,1036	6,873057	105196,7	15,69287	0	0	0	0
720,099976	36,5037956	5,43053055	120863,867	18,9235897	24,98272	6,87547	104726,9	15,65505	0	0	0	0
730,099976	36,4310455	5,51694965	122542,539	18,9047222	24,86705	6,878562	104288,9	15,61876	0	0	0	0
740,099976	36,3650665	5,60267115	124221,203	18,8875961	24,75653	6,882334	103882,3	15,58402	0	0	0	0
750,099976	36,3057251	5,68766451	125899,867	18,872179	24,6511	6,886783	103506,8	15,5508	0	0	0	0
760,099976	36,2528763	5,77190161	127578,531	18,8584385	24,55071	6,891906	103162	15,5191	0	0	0	0
770,099976	36,2063942	5,85535574	129257,195	18,846344	24,45528	6,897699	102847,4	15,48891	0	0	0	0
780,099976	36,1661339	5,93800163	130935,859	18,835865	24,36477	6,904155	102562,6	15,46022	0	0	0	0
790,099976	36,1319733	6,01981592	132614,531	18,8269653	24,27909	6,911268	102307,3	15,43301	0	0	0	0
800,099976	36,103775	6,10077715	134293,188	18,8196182	24,19821	6,919031	102080,9	15,40728	0	0	0	0
810,099976	36,0814171	6,18086481	135971,859	18,8137913	24,12204	6,927436	101883,2	15,38302	0	0	0	0
820,099976	36,0647697	6,26006031	137650,516	18,8094501	24,05053	6,936473	101713,7	15,3602	0	0	0	0
830,099976	36,0537071	6,33834648	139329,188	18,8065643	23,98361	6,946134	101572	15,33881	0	0	0	0
840,099976	36,0481071	6,41570902	141007,844	18,8051033	23,92123	6,956409	101457,6	15,31885	0	0	0	0
850,099976	36,0478439	6,49213314	142686,516	18,8050365	23,86331	6,967288	101370,3	15,3003	0	0	0	0
860,099976	36,0528069	6,5676074	144365,172	18,8063297	23,80979	6,978761	101309,5	15,28313	0	0	0	0
870,099976	36,06287	6,64212132	146043,844	18,8089542	23,76062	6,990819	101274,9	15,26734	0	0	0	0
880,099976	36,0779152	6,71566534	147722,516	18,8128777	23,71572	7,003449	101266,2	15,25291	0	0	0	0
890,099976	36,0978317	6,78823233	149401,172	18,8180695	23,67503	7,016643	101282,9	15,23982	0	0	0	0
900,099976	36,1225052	6,85981607	151079,844	18,8244991	23,63849	7,030389	101324,7	15,22805	0	0	0	0
910,099976	36,1518211	6,93041182	152758,5	18,8321362	23,60604	7,044677	101391,2	15,2176	0	0	0	0
920,099976	36,1856651	7,00001669	154437,172	18,84095	23,5776	7,059495	101482,1	15,20843	0	0	0	0
930,099976	36,2239342	7,06862831	156115,828	18,8509102	23,55313	7,074835	101597,1	15,20053	0	0	0	0
940,099976	36,2665176	7,1362462	157794,5	18,8619862	23,53255	7,090684	101735,7	15,19389	0	0	0	0
950,099976	36,3133049	7,20287085	159473,156	18,8741493	23,51581	7,107033	101897,7	15,18849	0	0	0	0
960,099976	36,3641968	7,26850414	161151,828	18,8873711	23,50284	7,12387	102082,8	15,1843	0	0	0	0
970,099976	36,4190865	7,33314896	162830,484	18,901619	23,49358	7,141187	102290,6	15,1813	0	0	0	0
980,099976	36,4778709	7,3968091	164509,156	18,9168682	23,48796	7,158972	102520,9	15,17949	0	0	0	0
990,099976	36,5404472	7,4594903	166187,828	18,9330864	23,48594	7,177216	102773,2	15,17883	0	0	0	0
1000,09998	36,6067162	7,5211978	167866,484	18,9502487	23,48743	7,195908	103047,5	15,17932	0	0	0	0
1010,09998	36,6765823	7,58193922	169545,156	18,9683228	23,49239	7,215038	103343,2	15,18092	0	0	0	0
1020,09998	36,7499466	7,6417222	171223,813	18,9872856	23,50075	7,234597	103660,2	15,18362	0	0	0	0

1030,09998	36,8267136	7,70055532	172902,484	19,0071068	23,51245	7,254576	103998,3	15,1874	0	0	0	0
1040,09998	36,9067917	7,75844812	174581,141	19,0277596	23,52744	7,274963	104357	15,19224	0	0	0	0
1050,09998	36,9900818	7,81541109	176259,813	19,0492172	23,54564	7,295751	104736,2	15,19812	0	0	0	0
1060,09998	37,0764961	7,87145472	177938,469	19,071455	23,56701	7,31693	105135,6	15,20501	0	0	0	0
1070,09998	37,1659431	7,92659044	179617,141	19,0944462	23,59149	7,33849	105554,9	15,21291	0	0	0	0
1080,09998	37,2583389	7,98083067	181295,813	19,118166	23,61901	7,360422	105993,8	15,22178	0	0	0	0
1090,09998	37,3535881	8,03418732	182974,469	19,1425896	23,64952	7,382718	106452,2	15,2316	0	0	0	0
1100,09998	37,4516106	8,08667469	184653,141	19,1676884	23,68296	7,405368	106929,8	15,24237	0	0	0	0
1110,09998	37,5523224	8,13830566	186331,797	19,1934433	23,71927	7,428364	107426,3	15,25405	0	0	0	0
1120,09998	37,6556358	8,18909359	188010,469	19,2198277	23,7584	7,451697	107941,5	15,26663	0	0	0	0
1130,09998	37,7614746	8,23905277	189689,125	19,2468204	23,80029	7,475358	108475,2	15,28008	0	0	0	0
1140,09998	37,8697548	8,28819847	191367,797	19,274395	23,84488	7,499339	109027,1	15,29439	0	0	0	0
1150,09998	37,9804001	8,33654499	193046,453	19,3025322	23,89213	7,523632	109597	15,30953	0	0	0	0
1160,09998	38,0933304	8,38410759	194725,125	19,3312073	23,94196	7,548227	110184,6	15,32549	0	0	0	0
1170,09998	38,2084732	8,43090057	196403,797	19,3604012	23,99433	7,573117	110789,8	15,34224	0	0	0	0
1180,09998	38,3257523	8,47694016	198082,453	19,3900909	24,04919	7,598294	111412,2	15,35977	0	0	0	0
1190,09998	38,4450951	8,52224159	199761,125	19,4202576	24,10648	7,62375	112051,8	15,37806	0	0	0	0
1200,09998	38,5664253	8,56682014	201439,781	19,4508781	24,16615	7,649477	112708,2	15,39707	0	0	0	0
1210,09998	38,6659851	8,52102661	200880,234	19,4759674	24,22814	7,675466	113381,2	15,41681	0	0	0	0
1220,09998	38,7463341	8,47966957	200320,672	19,4961929	24,29239	7,701698	114070,4	15,43724	0	0	0	0
1230,09998	38,8151398	8,44099426	199761,125	19,5134964	24,35861	7,727954	114771,3	15,45826	0	0	0	0
1240,09998	38,875103	8,40436649	199201,563	19,5285625	24,42599	7,753661	115471,6	15,47963	0	0	0	0
1250,09998	38,9277687	8,36942101	198642,016	19,5417862	24,4936	7,778214	116157,9	15,50104	0	0	0	0
1260,09998	38,9741707	8,33590889	198082,453	19,5534286	24,5606	7,801198	116819,8	15,52222	0	0	0	0
1270,09998	39,0150604	8,30364895	197522,906	19,5636845	24,62637	7,822401	117451	15,543	0	0	0	0
1280,09998	39,0510178	8,27250099	196963,344	19,5726967	24,69049	7,84175	118048	15,56321	0	0	0	0
1290,09998	39,0825081	8,24235344	196403,797	19,5805874	24,75264	7,859262	118609,5	15,58279	0	0	0	0
1300,09998	39,1099129	8,21311188	195844,234	19,58745	24,81263	7,875004	119135,1	15,60166	0	0	0	0
1310,09998	39,1335449	8,18470001	195284,672	19,5933685	24,87034	7,889071	119625,5	15,6198	0	0	0	0
1320,09998	39,1536827	8,15705109	194725,125	19,5984097	24,92567	7,901569	120081,6	15,63716	0	0	0	0
1330,09998	39,1705666	8,13010597	194165,563	19,6026344	24,97858	7,912607	120504,6	15,65375	0	0	0	0
1340,09998	39,1843948	8,10381508	193606,016	19,6060944	25,02905	7,922289	120895,8	15,66955	0	0	0	0
1350,09998	39,1953583	8,07813358	193046,453	19,6088352	25,07706	7,93072	121256,6	15,68458	0	0	0	0
1360,09998	39,2036171	8,05302143	192486,906	19,6109028	25,12264	7,937992	121588,4	15,69883	0	0	0	0
1370,09998	39,2093239	8,02844238	191927,344	19,6123295	25,1658	7,944194	121892,5	15,71231	0	0	0	0
1380,09998	39,2126122	8,00436497	191367,797	19,6131516	25,20657	7,949407	122170	15,72503	0	0	0	0
1390,09998	39,213604	7,98075867	190808,234	19,6133995	25,24497	7,953705	122422,3	15,737	0	0	0	0

1400,09998	39,2124062	7,95759726	190248,688	19,6131001	25,28105	7,957156	122650,4	15,74824	0	0	0	0
1410,09998	39,2091293	7,93485594	189689,125	19,6122799	25,31483	7,959822	122855,5	15,75876	0	0	0	0
1420,09998	39,2038612	7,9125123	189129,578	19,6109638	25,34637	7,96176	123038,5	15,76857	0	0	0	0
1430,09998	39,1966972	7,89054489	188570,016	19,6091709	25,37571	7,963019	123200,4	15,7777	0	0	0	0
1440,09998	39,1877098	7,86893463	188010,469	19,6069241	25,40289	7,963649	123342,1	15,78614	0	0	0	0
1450,09998	39,1769867	7,84766293	187450,906	19,6042404	25,42795	7,963691	123464,5	15,79393	0	0	0	0
1460,09998	39,1645889	7,82671404	186891,359	19,6011372	25,45095	7,963183	123568,3	15,80107	0	0	0	0
1470,09998	39,1505852	7,80607128	186331,797	19,5976334	25,47193	7,962162	123654,3	15,80758	0	0	0	0
1480,09998	39,1350441	7,78572083	185772,25	19,5937424	25,49094	7,96066	123723,2	15,81348	0	0	0	0
1490,09998	39,1180153	7,76564837	185212,688	19,5894794	25,50803	7,958706	123775,8	15,81878	0	0	0	0
1500,09998	39,0995636	7,7458415	184653,141	19,5848598	25,52324	7,956328	123812,6	15,8235	0	0	0	0
1510,09998	39,079731	7,72628736	184093,578	19,5798912	25,53662	7,95355	123834,2	15,82764	0	0	0	0
1520,09998	39,0585785	7,70697546	183534,031	19,5745907	25,54822	7,950396	123841,4	15,83124	0	0	0	0
1530,09998	39,0361404	7,68789434	182974,469	19,5689697	25,55809	7,946886	123834,5	15,83429	0	0	0	0
1540,09998	39,0124741	7,66903448	182414,922	19,563036	25,56626	7,943039	123814,1	15,83682	0	0	0	0
1550,09998	38,9876099	7,65038538	181855,359	19,5568008	25,57278	7,938874	123780,7	15,83884	0	0	0	0
1560,09998	38,9615936	7,63193798	181295,813	19,5502739	25,57771	7,934406	123734,9	15,84037	0	0	0	0
1570,09998	38,9344635	7,61368418	180736,25	19,5434666	25,58107	7,929652	123677	15,84141	0	0	0	0
1580,09998	38,9062576	7,59561539	180176,703	19,5363865	25,58292	7,924623	123607,5	15,84198	0	0	0	0
1590,09998	38,8770027	7,57772398	179617,141	19,5290394	25,58329	7,919335	123526,8	15,8421	0	0	0	0
1600,09998	38,8467407	7,56000233	179057,578	19,5214386	25,58223	7,913799	123435,4	15,84177	0	0	0	0
1610,09998	38,8154984	7,54244328	178498,031	19,513586	25,57977	7,908026	123333,5	15,84101	0	0	0	0
1620,09998	38,7833061	7,52504015	177938,469	19,5054932	25,57596	7,902027	123221,6	15,83983	0	0	0	0
1630,09998	38,7501945	7,50778675	177378,922	19,4971638	25,57084	7,895811	123099,9	15,83824	0	0	0	0
1640,09998	38,7161903	7,49067593	176819,359	19,4886074	25,56443	7,889388	122969	15,83626	0	0	0	0
1650,09998	38,6813202	7,47370291	176259,813	19,4798298	25,55678	7,882765	122829	15,83389	0	0	0	0
1660,09998	38,645607	7,45686102	175700,25	19,4708347	25,54792	7,875951	122680,3	15,83114	0	0	0	0
1670,09998	38,6090813	7,44014549	175140,703	19,4616318	25,53789	7,868954	122523,2	15,82804	0	0	0	0
1680,09998	38,5717583	7,42355108	174581,141	19,4522228	25,52672	7,861781	122357,9	15,82457	0	0	0	0
1690,09998	38,5336685	7,40707254	174021,594	19,4426155	25,51444	7,854437	122184,9	15,82077	0	0	0	0
1700,09998	38,4948273	7,39070511	173462,031	19,4328136	25,50109	7,846931	122004,2	15,81663	0	0	0	0
1710,09998	38,4552574	7,37444448	172902,484	19,422823	25,48669	7,839266	121816,2	15,81216	0	0	0	0
1720,09998	38,4149818	7,35828543	172342,922	19,4126492	25,47128	7,831449	121621,1	15,80738	0	0	0	0
1730,09998	38,3740158	7,3422246	171783,375	19,4022961	25,45488	7,823485	121419,3	15,80229	0	0	0	0
1740,09998	38,3323784	7,32625771	171223,813	19,3917675	25,43752	7,81538	121210,8	15,7969	0	0	0	0
1750,09998	38,2900925	7,31038046	170664,266	19,3810673	25,41924	7,807137	120995,9	15,79122	0	0	0	0
1760,09998	38,2471695	7,29458952	170104,703	19,3702011	25,40005	7,798762	120774,8	15,78526	0	0	0	0

1770,09998	38,2036285	7,2788806	169545,156	19,3591728	25,37999	7,790258	120547,8	15,77903	0	0	0	0
1780,09998	38,159481	7,26325035	168985,594	19,3479843	25,35907	7,78163	120315,1	15,77252	0	0	0	0
1790,09998	38,1147499	7,24769592	168426,047	19,3366413	25,33733	7,772881	120076,8	15,76576	0	0	0	0
1800,09998	38,0694466	7,2322135	167866,484	19,3251457	25,31478	7,764015	119833,1	15,75874	0	0	0	0
1810,09998	38,0235863	7,21679974	167306,938	19,3135033	25,29145	7,755036	119584,2	15,75148	0	0	0	0
1820,09998	37,9771805	7,20145226	166747,375	19,3017139	25,26737	7,745946	119330,3	15,74398	0	0	0	0
1830,09998	37,9302483	7,18616724	166187,828	19,2897835	25,24254	7,736751	119071,5	15,73624	0	0	0	0
1840,09998	37,8827934	7,17094278	165628,266	19,2777138	25,217	7,72745	118808,1	15,72828	0	0	0	0
1850,09998	37,8348389	7,15577507	165068,719	19,2655067	25,19077	7,71805	118540,1	15,7201	0	0	0	0
1860,09998	37,7863884	7,14066219	164509,156	19,2531681	25,16386	7,70855	118267,7	15,7117	0	0	0	0
1870,09998	37,7374573	7,12560129	163949,609	19,2406979	25,1363	7,698956	117991,1	15,70309	0	0	0	0
1880,09998	37,6880569	7,11058998	163390,047	19,2280998	25,10809	7,689269	117710,4	15,69428	0	0	0	0
1890,09998	37,6381989	7,0956254	162830,484	19,2153778	25,07927	7,679491	117425,8	15,68527	0	0	0	0
1900,09998	37,5878944	7,08070564	162270,938	19,2025318	25,04984	7,669625	117137,3	15,67606	0	0	0	0
1910,09998	37,5371513	7,06582832	161711,375	19,1895657	25,01983	7,659673	116845,2	15,66667	0	0	0	0
1920,09998	37,4859772	7,05099154	161151,828	19,1764812	24,98924	7,649637	116549,4	15,65709	0	0	0	0
1930,09998	37,434391	7,03619242	160592,266	19,1632824	24,95811	7,63952	116250,3	15,64733	0	0	0	0
1940,09998	37,3823891	7,02142906	160032,719	19,1499672	24,92643	7,629323	115947,8	15,6374	0	0	0	0
1950,09998	37,3299942	7,00669956	159473,156	19,1365414	24,89424	7,619048	115642	15,6273	0	0	0	0
1960,09998	37,2772026	6,99200249	158913,609	19,1230068	24,86153	7,608697	115333,2	15,61703	0	0	0	0
1970,09998	37,2240334	6,97733498	158354,047	19,1093636	24,82833	7,598272	115021,4	15,6066	0	0	0	0
1980,09998	37,1704865	6,96269608	157794,5	19,0956135	24,79464	7,587775	114706,6	15,59601	0	0	0	0
1990,09998	37,1165733	6,94808292	157234,938	19,0817604	24,76049	7,577207	114389,1	15,58526	0	0	0	0
2000,09998	37,0623016	6,93349504	156675,391	19,0678043	24,72588	7,56657	114068,8	15,57437	0	0	0	0
2010,09998	37,007679	6,91893005	156115,828	19,0537472	24,69082	7,555865	113746	15,56332	0	0	0	0
2020,09998	36,9527092	6,90438604	155556,281	19,0395927	24,65534	7,545094	113420,6	15,55213	0	0	0	0
2030,09998	36,8974037	6,88986158	154996,719	19,0253391	24,61943	7,534257	113092,7	15,54081	0	0	0	0
2040,09998	36,8417702	6,87535572	154437,172	19,0109901	24,58312	7,523357	112762,5	15,52934	0	0	0	0
2050,1001	36,7858086	6,86086607	153877,609	18,9965458	24,5464	7,512396	112430,1	15,51774	0	0	0	0
2060,1001	36,7295303	6,84639168	153318,063	18,9820099	24,5093	7,501373	112095,4	15,50601	0	0	0	0
2070,1001	36,6729393	6,83193064	152758,5	18,9673805	24,47182	7,490291	111758,7	15,49415	0	0	0	0
2080,1001	36,6160469	6,81748247	152198,953	18,9526615	24,43398	7,479149	111419,8	15,48216	0	0	0	0
2090,1001	36,5588493	6,8030448	151639,391	18,9378548	24,39577	7,467951	111079,1	15,47005	0	0	0	0
2100,1001	36,501358	6,78861666	151079,844	18,9229584	24,35721	7,456697	110736,4	15,45782	0	0	0	0
2110,1001	36,4435806	6,77419662	150520,281	18,9079742	24,31832	7,445386	110391,8	15,44547	0	0	0	0
2120,1001	36,3855171	6,75978374	149960,734	18,8929062	24,27909	7,434022	110045,5	15,43301	0	0	0	0
2130,1001	36,3271713	6,74537659	149401,172	18,8777523	24,23954	7,422605	109697,5	15,42044	0	0	0	0

2140,1001	36,2685547	6,7309742	148841,625	18,8625164	24,19967	7,411134	109347,9	15,40775	0	0	0	0
2150,1001	36,209671	6,71657515	148282,063	18,8471985	24,15949	7,399613	108996,6	15,39495	0	0	0	0
2160,1001	36,1505165	6,702178	147722,516	18,8317966	24,11902	7,388041	108643,8	15,38205	0	0	0	0
2170,1001	36,0911064	6,68778181	147162,953	18,8163166	24,07825	7,376419	108289,6	15,36905	0	0	0	0
2180,1001	36,0314369	6,6733861	146603,391	18,8007565	24,0372	7,364748	107933,9	15,35594	0	0	0	0
2190,1001	35,9715195	6,65898895	146043,844	18,7851162	23,99586	7,35303	107576,9	15,34273	0	0	0	0
2200,1001	35,9113503	6,6445899	145484,281	18,7693996	23,95426	7,341264	107218,5	15,32943	0	0	0	0
2210,1001	35,8509369	6,63018751	144924,734	18,7536049	23,91239	7,329451	106858,9	15,31602	0	0	0	0
2220,1001	35,7902832	6,61578083	144365,172	18,7377338	23,87026	7,317592	106498	15,30252	0	0	0	0
2230,1001	35,729393	6,60136938	143805,625	18,7217884	23,82788	7,305688	106136	15,28893	0	0	0	0
2240,1001	35,6682701	6,58695126	143246,063	18,7057667	23,78525	7,293739	105772,8	15,27525	0	0	0	0
2250,1001	35,6069183	6,57252645	142686,516	18,6896725	23,74238	7,281746	105408,6	15,26148	0	0	0	0
2260,1001	35,5453377	6,55809402	142126,953	18,6735039	23,69927	7,269711	105043,3	15,24762	0	0	0	0
2270,1001	35,4835358	6,54365206	141567,406	18,6572628	23,65593	7,257632	104677	15,23367	0	0	0	0
2280,1001	35,4215088	6,52920055	141007,844	18,6409492	23,61237	7,245511	104309,7	15,21964	0	0	0	0
2290,1001	35,3592682	6,51473856	140448,297	18,6245651	23,56858	7,233348	103941,5	15,20552	0	0	0	0
2300,1001	35,296814	6,50026512	139888,734	18,6081085	23,52458	7,221144	103572,4	15,19132	0	0	0	0
2310,1001	35,2341461	6,48577929	139329,188	18,5915833	23,48037	7,208899	103202,5	15,17704	0	0	0	0
2320,1001	35,1712685	6,4712801	138769,625	18,5749874	23,43595	7,196615	102831,7	15,16267	0	0	0	0
2330,1001	35,1081848	6,45676756	138210,078	18,558321	23,39133	7,18429	102460,1	15,14823	0	0	0	0
2340,1001	35,0448952	6,44223976	137650,516	18,5415859	23,34651	7,171926	102087,8	15,13371	0	0	0	0
2350,1001	34,9814072	6,4276967	137090,969	18,5247841	23,3015	7,159524	101714,8	15,11912	0	0	0	0
2360,1001	34,917717	6,41313744	136531,406	18,5079117	23,25629	7,147083	101341,1	15,10444	0	0	0	0
2370,1001	34,8538322	6,398561	135971,859	18,4909725	23,21091	7,134604	100966,7	15,0897	0	0	0	0
2380,1001	34,7897491	6,38396692	135412,297	18,4739666	23,16533	7,122087	100591,7	15,07488	0	0	0	0
2390,1001	34,7254753	6,36935425	134852,75	18,4568939	23,11959	7,109534	100216,1	15,05998	0	0	0	0
2400,1001	34,6610107	6,3547225	134293,188	18,4397526	23,07366	7,096943	99839,88	15,04502	0	0	0	0
2410,1001	34,5963554	6,34007072	133733,641	18,4225464	23,02756	7,084316	99463,13	15,02998	0	0	0	0
2420,1001	34,5315132	6,32539845	133174,078	18,4052753	22,9813	7,071653	99085,87	15,01488	0	0	0	0
2430,1001	34,4664879	6,31070518	132614,531	18,3879375	22,93487	7,058953	98708,1	14,9997	0	0	0	0
2440,1001	34,4012756	6,29598951	132054,969	18,3705349	22,88828	7,046218	98329,86	14,98446	0	0	0	0
2450,1001	34,3358841	6,28125143	131495,422	18,3530655	22,84153	7,033449	97951,17	14,96915	0	0	0	0
2460,1001	34,2703094	6,26648998	130935,859	18,3355331	22,79462	7,020643	97572,05	14,95377	0	0	0	0
2470,1001	34,2045593	6,25170469	130376,305	18,317934	22,74756	7,007803	97192,54	14,93832	0	0	0	0
2480,1001	34,1386299	6,23689508	129816,75	18,300272	22,70035	6,994929	96812,63	14,92282	0	0	0	0
2490,1001	34,072525	6,2220602	129257,195	18,2825451	22,65299	6,98202	96432,37	14,90724	0	0	0	0
2500,1001	34,0062447	6,20719957	128697,641	18,2647552	22,60548	6,969078	96051,76	14,8916	0	0	0	0

2510,1001	33,9397926	6,19231224	128138,086	18,2469006	22,55784	6,956101	95670,83	14,8759	0	0	0	0
2520,1001	33,8731689	6,1773982	127578,531	18,228981	22,51005	6,943091	95289,59	14,86013	0	0	0	0
2530,1001	33,8063736	6,16245604	127018,977	18,2110004	22,46212	6,930048	94908,08	14,84431	0	0	0	0
2540,1001	33,7394066	6,14748621	126459,422	18,1929531	22,41406	6,916971	94526,29	14,82841	0	0	0	0
2550,1001	33,6722717	6,1324873	125899,867	18,1748447	22,36586	6,903862	94144,26	14,81246	0	0	0	0
2560,1001	33,604969	6,11745882	125340,313	18,1566734	22,31753	6,890719	93762	14,79645	0	0	0	0
2570,1001	33,5375023	6,1024003	124780,758	18,1384373	22,26907	6,877544	93379,52	14,78038	0	0	0	0
2580,1001	33,4698677	6,08731174	124221,203	18,1201382	22,22048	6,864337	92996,85	14,76425	0	0	0	0
2590,1001	33,4020691	6,07219172	123661,648	18,1017761	22,17177	6,851097	92613,99	14,74805	0	0	0	0
2600,1001	33,3341064	6,05703974	123102,094	18,0833511	22,12293	6,837825	92230,98	14,7318	0	0	0	0
2610,1001	33,2659798	6,04185581	122542,539	18,0648632	22,07397	6,824521	91847,8	14,71549	0	0	0	0
2620,1001	33,1976929	6,02663898	121982,977	18,0463104	22,02489	6,811184	91464,49	14,69912	0	0	0	0
2630,1001	33,1292419	6,0113883	121423,422	18,0276966	21,97569	6,797817	91081,06	14,68269	0	0	0	0
2640,1001	33,0606308	5,99610424	120863,867	18,0090199	21,92637	6,784417	90697,52	14,66621	0	0	0	0
2650,1001	32,9918594	5,98078537	120304,313	17,9902782	21,87693	6,770986	90313,88	14,64967	0	0	0	0
2660,1001	32,9229279	5,96543169	119744,758	17,9714756	21,82738	6,757523	89930,16	14,63307	0	0	0	0
2670,1001	32,8538399	5,95004177	119185,203	17,9526081	21,77772	6,744029	89546,38	14,61641	0	0	0	0
2680,1001	32,7845917	5,93461657	118625,648	17,9336796	21,72795	6,730503	89162,53	14,5997	0	0	0	0
2690,1001	32,7151833	5,91915417	118066,094	17,9146862	21,67806	6,716946	88778,64	14,58293	0	0	0	0
2700,1001	32,6456184	5,90365458	117506,539	17,895628	21,62807	6,703358	88394,71	14,5661	0	0	0	0
2710,1001	32,5758972	5,88811684	116946,984	17,8765087	21,57796	6,689739	88010,77	14,54922	0	0	0	0
2720,1001	32,5060196	5,87254143	116387,43	17,8573246	21,52775	6,676089	87626,81	14,53228	0	0	0	0
2730,1001	32,4359856	5,85692644	115827,875	17,8380775	21,47744	6,662407	87242,85	14,51529	0	0	0	0
2740,1001	32,3657951	5,84127235	115268,32	17,8187675	21,42702	6,648695	86858,91	14,49824	0	0	0	0
2750,1001	32,2954521	5,82557869	114708,766	17,7993927	21,3765	6,634952	86474,98	14,48114	0	0	0	0
2760,1001	32,2249489	5,80984402	114149,211	17,779953	21,32587	6,621178	86091,09	14,46398	0	0	0	0
2770,1001	32,1542931	5,79406881	113589,656	17,7604504	21,27514	6,607373	85707,23	14,44677	0	0	0	0
2780,1001	32,0834808	5,77825165	113030,102	17,7408829	21,22431	6,593537	85323,43	14,4295	0	0	0	0
2790,1001	32,0125122	5,76239252	112470,547	17,7212524	21,17339	6,57967	84939,68	14,41218	0	0	0	0
2800,1001	31,9413929	5,74649048	111910,992	17,7015553	21,12236	6,565772	84556,01	14,3948	0	0	0	0
2810,1001	31,8701172	5,73054552	111351,438	17,6817932	21,07124	6,551844	84172,41	14,37737	0	0	0	0
2820,1001	31,7986851	5,71455717	110791,883	17,6619682	21,02002	6,537885	83788,9	14,35989	0	0	0	0
2830,1001	31,7271004	5,698524	110232,328	17,6420765	20,9687	6,523894	83405,48	14,34235	0	0	0	0
2840,1001	31,6553612	5,68244648	109672,773	17,6221199	20,91728	6,509873	83022,16	14,32475	0	0	0	0
2850,1001	31,5834675	5,66632318	109113,219	17,6020966	20,86578	6,495822	82638,96	14,30711	0	0	0	0
2860,1001	31,5114212	5,65015411	108553,664	17,5820084	20,81417	6,481739	82255,88	14,2894	0	0	0	0
2870,1001	31,4392185	5,63393879	107994,109	17,5618553	20,76248	6,467626	81872,92	14,27165	0	0	0	0

2880,1001	31,3668613	5,61767626	107434,555	17,5416336	20,71069	6,453481	81490,09	14,25384	0	0	0	0
2890,1001	31,2943516	5,60136604	106875	17,521347	20,65881	6,439306	81107,41	14,23597	0	0	0	0
2900,1001	31,2216854	5,58500814	106315,445	17,5009918	20,60684	6,425099	80724,88	14,21805	0	0	0	0
2910,1001	31,1488647	5,56860161	105755,883	17,4805717	20,55477	6,410862	80342,49	14,20008	0	0	0	0
2920,1001	31,0758896	5,55214548	105196,328	17,460083	20,50262	6,396594	79960,28	14,18206	0	0	0	0
2930,1001	31,0027599	5,53563976	104636,773	17,4395256	20,45037	6,382294	79578,23	14,16397	0	0	0	0
2940,1001	30,9294739	5,5190835	104077,219	17,4189014	20,39804	6,367963	79196,36	14,14584	0	0	0	0
2950,1001	30,8560333	5,50247622	103517,664	17,3982086	20,34562	6,353601	78814,66	14,12765	0	0	0	0
2960,1001	30,7824364	5,48581791	102958,109	17,377449	20,29311	6,339208	78433,16	14,10941	0	0	0	0
2970,1001	30,7086849	5,46910715	102398,555	17,3566189	20,24051	6,324783	78051,85	14,09111	0	0	0	0
2980,1001	30,6347752	5,45234394	101839	17,3357182	20,18782	6,310328	77670,74	14,07276	0	0	0	0
2990,1001	30,5607109	5,43552732	101279,445	17,3147507	20,13504	6,29584	77289,84	14,05435	0	0	0	0
3000,1001	30,4864883	5,41865683	100719,891	17,2937107	20,08218	6,281321	76909,15	14,03589	0	0	0	0
3010,1001	30,4121113	5,40173197	100160,336	17,2726021	20,02923	6,26677	76528,67	14,01737	0	0	0	0
3020,1001	30,337574	5,3847518	99600,7813	17,2514229	19,97619	6,252188	76148,42	13,9988	0	0	0	0
3030,1001	30,2628803	5,36771631	99041,2266	17,2301731	19,92307	6,237574	75768,4	13,98018	0	0	0	0
3040,1001	30,1880283	5,35062456	98481,6719	17,2088509	19,86986	6,222928	75388,61	13,96149	0	0	0	0
3050,1001	30,1130161	5,33347607	97922,1172	17,187458	19,81656	6,20825	75009,05	13,94276	0	0	0	0
3060,1001	30,0378475	5,31626987	97362,5625	17,1659927	19,76318	6,19354	74629,75	13,92397	0	0	0	0
3070,1001	29,9625168	5,29900551	96803,0078	17,144453	19,70972	6,178797	74250,7	13,90512	0	0	0	0
3080,1001	29,8870277	5,28168201	96243,4531	17,1228428	19,65616	6,164023	73871,89	13,88622	0	0	0	0
3090,1001	29,8113785	5,26429987	95683,8984	17,1011581	19,60253	6,149216	73493,34	13,86726	0	0	0	0
3100,1001	29,7355671	5,24685717	95124,3438	17,079401	19,54881	6,134377	73115,06	13,84824	0	0	0	0
3110,1001	29,6595955	5,2293539	94564,7891	17,0575676	19,495	6,119504	72737,05	13,82917	0	0	0	0
3120,1001	29,5834618	5,21178913	94005,2344	17,0356617	19,44111	6,104599	72359,31	13,81004	0	0	0	0
3130,1001	29,507164	5,19416285	93445,6797	17,0136795	19,38713	6,089662	71981,84	13,79086	0	0	0	0
3140,1001	29,4307041	5,17647314	92886,125	16,991621	19,33307	6,074691	71604,66	13,77162	0	0	0	0
3150,1001	29,3540821	5,15872049	92326,5703	16,9694881	19,27893	6,059688	71227,77	13,75232	0	0	0	0
3160,1001	29,2772942	5,14090395	91767,0156	16,947279	19,2247	6,044651	70851,16	13,73296	0	0	0	0
3170,1001	29,2003403	5,12302208	91207,4609	16,9249916	19,17039	6,02958	70474,85	13,71355	0	0	0	0
3180,1001	29,1232224	5,10507488	90647,9063	16,9026279	19,11599	6,014476	70098,84	13,69408	0	0	0	0
3190,1001	29,0459385	5,08706188	90088,3516	16,8801861	19,06151	5,999339	69723,13	13,67455	0	0	0	0
3200,1001	28,9684887	5,06898165	89528,7891	16,8576641	19,00695	5,984168	69347,73	13,65497	0	0	0	0
3210,1001	28,8908691	5,0508337	88969,2344	16,8350658	18,9523	5,968962	68972,64	13,63532	0	0	0	0
3220,1001	28,8130836	5,03261757	88409,6797	16,8123875	18,89756	5,953723	68597,87	13,61562	0	0	0	0
3230,1001	28,7351265	5,01433182	87850,125	16,7896271	18,84274	5,938449	68223,41	13,59586	0	0	0	0
3240,1001	28,6570015	4,99597645	87290,5703	16,7667885	18,78784	5,923141	67849,27	13,57604	0	0	0	0

3250,1001	28,5787067	4,97755051	86731,0156	16,7438679	18,73286	5,907799	67475,47	13,55615	0	0	0	0
3260,1001	28,5002403	4,95905304	86171,4609	16,7208652	18,67779	5,892422	67101,99	13,53621	0	0	0	0
3270,1001	28,4216022	4,94048309	85611,9063	16,6977825	18,62263	5,877009	66728,84	13,51621	0	0	0	0
3280,1001	28,3427906	4,92184067	85052,3516	16,674614	18,56739	5,861562	66356,04	13,49615	0	0	0	0
3290,1001	28,2638054	4,90312386	84492,7969	16,6513634	18,51207	5,84608	65983,58	13,47603	0	0	0	0
3300,1001	28,1846466	4,88433266	83933,2422	16,6280308	18,45666	5,830562	65611,45	13,45585	0	0	0	0
3310,1001	28,1053123	4,86546564	83373,6875	16,6046104	18,40117	5,815008	65239,68	13,4356	0	0	0	0
3320,1001	28,0258026	4,84652233	82814,1328	16,5811081	18,34559	5,799419	64868,26	13,4153	0	0	0	0
3330,1001	27,9461155	4,82750177	82254,5781	16,557518	18,28992	5,783793	64497,2	13,39493	0	0	0	0
3340,1001	27,866251	4,80840302	81695,0234	16,5338421	18,23417	5,768132	64126,49	13,3745	0	0	0	0
3350,1001	27,7862072	4,78922558	81135,4688	16,5100784	18,17834	5,752434	63756,15	13,35401	0	0	0	0
3360,1001	27,7059841	4,76996803	80575,9141	16,486227	18,12242	5,7367	63386,17	13,33345	0	0	0	0
3370,1001	27,6255817	4,75062943	80016,3594	16,4622879	18,06641	5,720929	63016,56	13,31283	0	0	0	0
3380,1001	27,5449963	4,73120928	79456,8047	16,438261	18,01032	5,705121	62647,32	13,29215	0	0	0	0
3390,1001	27,4642296	4,71170664	78897,25	16,4141426	17,95414	5,689276	62278,46	13,2714	0	0	0	0
3400,1001	27,3832779	4,69212055	78337,6953	16,3899345	17,89788	5,673393	61909,98	13,25059	0	0	0	0
3410,1001	27,3021431	4,67244959	77778,1406	16,3656349	17,84153	5,657473	61541,87	13,22972	0	0	0	0
3420,1001	27,2208233	4,65269279	77218,5859	16,3412457	17,78509	5,641515	61174,16	13,20877	0	0	0	0
3430,1001	27,1393166	4,63284969	76659,0313	16,316761	17,72857	5,625519	60806,83	13,18777	0	0	0	0
3440,1001	27,0576229	4,61291885	76099,4766	16,2921848	17,67195	5,609484	60439,89	13,16669	0	0	0	0
3450,1001	26,9757404	4,59289932	75539,9219	16,2675133	17,61525	5,593411	60073,35	13,14556	0	0	0	0
3460,1001	26,8936691	4,57279062	74980,3672	16,2427483	17,55846	5,5773	59707,2	13,12435	0	0	0	0
3470,1001	26,8114071	4,55259037	74420,8125	16,2178879	17,50159	5,56115	59341,46	13,10308	0	0	0	0
3480,1001	26,7289524	4,53229904	73861,2578	16,1929321	17,44462	5,54496	58976,12	13,08173	0	0	0	0
3490,1001	26,6463051	4,51191425	73301,6953	16,1678772	17,38757	5,52873	58611,19	13,06032	0	0	0	0
3500,1001	26,5634651	4,49143553	72742,1406	16,142725	17,33043	5,512462	58246,67	13,03885	0	0	0	0
3510,1001	26,4804287	4,47086191	72182,5859	16,1174755	17,2732	5,496153	57882,56	13,0173	0	0	0	0
3520,1001	26,3971977	4,4501915	71623,0313	16,0921249	17,21588	5,479804	57518,87	12,99568	0	0	0	0
3530,1001	26,3137684	4,42942381	71063,4766	16,0666752	17,15847	5,463414	57155,59	12,974	0	0	0	0
3540,1001	26,2301388	4,40855742	70503,9219	16,0411243	17,10096	5,446984	56792,75	12,95224	0	0	0	0
3550,1001	26,1463108	4,38759089	69944,3672	16,0154705	17,04337	5,430512	56430,32	12,93041	0	0	0	0
3560,1001	26,0622826	4,36652327	69384,8125	15,9897156	16,98569	5,414	56068,33	12,90851	0	0	0	0
3570,1001	25,9780521	4,34535313	68825,2578	15,9638557	16,92791	5,397446	55706,77	12,88654	0	0	0	0
3580,1001	25,8936176	4,32407951	68265,7031	15,937891	16,87005	5,38085	55345,64	12,86449	0	0	0	0
3590,1001	25,8089771	4,30270052	67706,1484	15,9118214	16,81209	5,364212	54984,95	12,84237	0	0	0	0
3600,1001	25,7241325	4,28121519	67146,5938	15,8856459	16,75404	5,347531	54624,7	12,82018	0	0	0	0
3610,1001	25,63908	4,2596221	66587,0391	15,8593626	16,69589	5,330808	54264,89	12,79792	0	0	0	0

3620,1001	25,5538177	4,23792028	66027,4844	15,8329706	16,63766	5,314042	53905,53	12,77558	0	0	0	0
3630,1001	25,4683456	4,21610737	65467,9297	15,8064699	16,57933	5,297232	53546,63	12,75316	0	0	0	0
3640,1001	25,3826637	4,19418287	64908,375	15,7798586	16,5209	5,280379	53188,17	12,73067	0	0	0	0
3650,1001	25,2967682	4,17214489	64348,8203	15,7531357	16,46238	5,263482	52830,17	12,70811	0	0	0	0
3660,1001	25,2106571	4,14999151	63789,2656	15,7263012	16,40377	5,246541	52472,63	12,68546	0	0	0	0
3670,1001	25,1243324	4,12772226	63229,7109	15,6993532	16,34506	5,229555	52115,55	12,66274	0	0	0	0
3680,1001	25,0377903	4,10533476	62670,1563	15,6722918	16,28625	5,212523	51758,94	12,63994	0	0	0	0
3690,1001	24,9510288	4,08282804	62110,6016	15,6451139	16,22735	5,195447	51402,79	12,61706	0	0	0	0
3700,1001	24,864048	4,06019974	61551,0469	15,6178198	16,16835	5,178326	51047,12	12,59411	0	0	0	0
3710,1001	24,7768459	4,03744888	60991,4883	15,5904093	16,10925	5,161158	50691,93	12,57107	0	0	0	0
3720,1001	24,6894207	4,01457357	60431,9336	15,5628796	16,05006	5,143944	50337,2	12,54795	0	0	0	0
3730,1001	24,6017704	3,9915719	59872,3789	15,5352297	15,99077	5,126684	49982,96	12,52475	0	0	0	0
3740,1001	24,513895	3,96844244	59312,8242	15,5074596	15,93137	5,109376	49629,21	12,50147	0	0	0	0
3750,1001	24,4257927	3,94518328	58753,2695	15,4795685	15,87188	5,092022	49275,94	12,47811	0	0	0	0
3760,1001	24,3374615	3,92179275	58193,7148	15,4515533	15,81229	5,074619	48923,16	12,45466	0	0	0	0
3770,1001	24,2488976	3,8982687	57634,1602	15,4234133	15,7526	5,057168	48570,88	12,43113	0	0	0	0
3780,1001	24,1601028	3,87460947	57074,6055	15,3951492	15,69281	5,03967	48219,09	12,40752	0	0	0	0
3790,1001	24,0710735	3,85081315	56515,0508	15,3667574	15,63292	5,022122	47867,8	12,38382	0	0	0	0
3800,1001	23,9818096	3,82687783	55955,4961	15,3382387	15,57292	5,004525	47517,01	12,36003	0	0	0	0
3810,1001	23,8923092	3,80280137	55395,9414	15,3095903	15,51282	4,986877	47166,73	12,33616	0	0	0	0
3820,1001	23,8025684	3,77858162	54836,3867	15,2808113	15,45262	4,969181	46816,96	12,3122	0	0	0	0
3830,1001	23,7125874	3,75421691	54276,832	15,2519007	15,39232	4,951433	46467,7	12,28815	0	0	0	0
3840,1001	23,622364	3,72970462	53717,2773	15,2228575	15,33191	4,933635	46118,96	12,26401	0	0	0	0
3850,1001	23,5318966	3,70504284	53157,7227	15,1936798	15,2714	4,915785	45770,73	12,23979	0	0	0	0
3860,1001	23,4411831	3,68022943	52598,1641	15,1643658	15,21078	4,897884	45423,03	12,21547	0	0	0	0
3870,1001	23,3502216	3,65526175	52038,6094	15,1349154	15,15005	4,87993	45075,86	12,19106	0	0	0	0
3880,1001	23,2590103	3,63013792	51479,0547	15,1053267	15,08922	4,861924	44729,21	12,16656	0	0	0	0
3890,1001	23,1675491	3,6048553	50919,5	15,0755978	15,02828	4,843865	44383,09	12,14197	0	0	0	0
3900,1001	23,0758343	3,57941175	50359,9453	15,0457277	14,96724	4,825752	44037,52	12,11728	0	0	0	0
3910,1001	22,9838638	3,5538044	49800,3906	15,0157156	14,90608	4,807585	43692,48	12,0925	0	0	0	0
3920,1001	22,8916378	3,52803087	49240,8359	14,9855585	14,84482	4,789364	43347,98	12,06763	0	0	0	0
3930,1001	22,7991524	3,50208855	48681,2813	14,9552555	14,78344	4,771087	43004,03	12,04266	0	0	0	0
3940,1001	22,7064056	3,4759748	48121,7266	14,9248056	14,72196	4,752755	42660,63	12,01759	0	0	0	0
3950,1001	22,6133957	3,449687	47562,1719	14,894207	14,66036	4,734367	42317,78	11,99242	0	0	0	0
3960,1001	22,5201225	3,4232223	47002,6172	14,8634586	14,59865	4,715923	41975,48	11,96715	0	0	0	0
3970,1001	22,4265804	3,39657784	46443,0625	14,8325577	14,53683	4,697422	41633,75	11,94179	0	0	0	0
3980,1001	22,3327713	3,36975074	45883,5078	14,8015032	14,4749	4,678863	41292,59	11,91632	0	0	0	0

3990,1001	22,2386913	3,34273815	45323,9531	14,7702932	14,41285	4,660245	40951,98	11,89076	0	0	0	0
4000,1001	22,1443386	3,31553674	44764,3945	14,7389269	14,35069	4,64157	40611,95	11,86509	0	0	0	0
4010,1001	22,0497093	3,28814363	44204,8398	14,7074013	14,28841	4,622835	40272,5	11,83931	0	0	0	0
4020,1001	21,9548035	3,26055551	43645,2852	14,6757154	14,22602	4,60404	39933,62	11,81344	0	0	0	0
4030,1001	21,8596191	3,23276901	43085,7305	14,6438675	14,16351	4,585185	39595,33	11,78745	0	0	0	0
4040,1001	21,7641525	3,20478106	42526,1758	14,6118565	14,10088	4,566269	39257,62	11,76136	0	0	0	0
4050,1001	21,6684036	3,17658806	41966,6211	14,5796785	14,03814	4,547291	38920,5	11,73517	0	0	0	0
4060,1001	21,5723667	3,14818668	41407,0664	14,5473337	13,97527	4,528252	38583,97	11,70886	0	0	0	0
4070,1001	21,4760437	3,11957288	40847,5117	14,5148191	13,91228	4,509149	38248,05	11,68244	0	0	0	0
4080,1001	21,3794289	3,09074354	40287,957	14,4821339	13,84918	4,489984	37912,72	11,65592	0	0	0	0
4090,1001	21,2825222	3,06169438	39728,4023	14,4492741	13,78595	4,470754	37578	11,62928	0	0	0	0
4100,1001	21,1853199	3,03242159	39168,8477	14,4162397	13,7226	4,451459	37243,89	11,60253	0	0	0	0
4110,1001	21,0878201	3,00292134	38609,293	14,383028	13,65913	4,432099	36910,39	11,57567	0	0	0	0
4120,1001	20,9900208	2,97318959	38049,7383	14,349637	13,59553	4,412673	36577,51	11,54869	0	0	0	0
4130,1001	20,8919182	2,94322205	37490,1836	14,3160648	13,53181	4,39318	36245,25	11,52159	0	0	0	0
4140,1001	20,7935123	2,91301441	36930,6289	14,2823095	13,46796	4,373621	35913,62	11,49438	0	0	0	0
4150,1001	20,6947994	2,88256216	36371,0703	14,2483673	13,40399	4,353992	35582,61	11,46704	0	0	0	0
4160,1001	20,5957756	2,851861	35811,5156	14,2142382	13,33989	4,334295	35252,24	11,43959	0	0	0	0
4170,1001	20,4964409	2,82090616	35251,9609	14,1799183	13,27566	4,314528	34922,51	11,41202	0	0	0	0
4180,1001	20,3967915	2,78969288	34692,4063	14,1454067	13,2113	4,294691	34593,43	11,38432	0	0	0	0
4190,1001	20,2968254	2,75821614	34132,8516	14,1106997	13,14681	4,274783	34264,98	11,3565	0	0	0	0
4200,1001	20,1965389	2,72647071	33573,2969	14,0757961	13,08219	4,254802	33937,2	11,32856	0	0	0	0
4210,1001	20,0959301	2,69445205	33013,7422	14,0406933	13,01744	4,234749	33610,06	11,30049	0	0	0	0
4220,1001	19,994997	2,6621542	32454,1875	14,0053892	12,95255	4,214622	33283,59	11,27229	0	0	0	0
4230,1001	19,8937359	2,62957215	31894,6328	13,9698801	12,88753	4,194421	32957,79	11,24396	0	0	0	0
4240,1001	19,7921429	2,59669971	31335,0781	13,934164	12,82238	4,174145	32632,65	11,2155	0	0	0	0
4250,1001	19,6902199	2,56353164	30775,5234	13,8982391	12,75709	4,153792	32308,19	11,18692	0	0	0	0
4260,1001	19,5879593	2,53006172	30215,9668	13,8621025	12,69167	4,133362	31984,41	11,15819	0	0	0	0
4270,1001	19,4853592	2,49628401	29656,4121	13,8257504	12,6261	4,112854	31661,31	11,12933	0	0	0	0
4280,1001	19,3824196	2,46219206	29096,8574	13,7891817	12,5604	4,092267	31338,9	11,10034	0	0	0	0
4290,1001	19,2791348	2,4277792	28537,3027	13,7523928	12,49456	4,0716	31017,18	11,07121	0	0	0	0
4300,1001	19,1755028	2,39303899	27977,748	13,7153816	12,42858	4,050853	30696,17	11,04194	0	0	0	0
4310,1001	19,0715218	2,35796452	27418,1934	13,6781445	12,36246	4,030023	30375,86	11,01252	0	0	0	0
4320,1001	18,9671879	2,32254887	26858,6387	13,6406784	12,29619	4,00911	30056,25	10,98297	0	0	0	0
4330,1001	18,8624973	2,28678441	26299,082	13,6029816	12,22978	3,988114	29737,36	10,95327	0	0	0	0
4340,1001	18,7574501	2,25066376	25739,5273	13,5650501	12,16323	3,967032	29419,19	10,92343	0	0	0	0
4350,1001	18,6520386	2,21417904	25179,9727	13,5268812	12,09653	3,945864	29101,74	10,89344	0	0	0	0

4360,1001	18,5462646	2,17732263	24620,418	13,488471	12,02968	3,924609	28785,03	10,86329	0	0	0	0
4370,1001	18,4401226	2,14008594	24060,8633	13,4498177	11,96268	3,903266	28469,05	10,833	0	0	0	0
4380,1001	18,3336086	2,10246062	23501,3086	13,4109173	11,89554	3,881832	28153,81	10,80256	0	0	0	0
4390,1001	18,2267227	2,06443787	22941,7539	13,371767	11,82825	3,860308	27839,31	10,77196	0	0	0	0
4400,1001	18,1194592	2,02600861	22382,1973	13,3323631	11,7608	3,838692	27525,57	10,7412	0	0	0	0
4410,1001	18,011816	1,98716378	21822,6426	13,2927017	11,6932	3,816983	27212,59	10,71029	0	0	0	0
4420,1001	17,9037895	1,94789338	21263,0879	13,25278	11,62545	3,795179	26900,36	10,67922	0	0	0	0
4430,1001	17,7953777	1,90818763	20703,5332	13,212594	11,55754	3,773278	26588,91	10,64798	0	0	0	0
4440,1001	17,6865749	1,86803615	20143,9785	13,1721411	11,48948	3,751281	26278,23	10,61658	0	0	0	0
4450,1001	17,5773811	1,82742858	19584,4238	13,1314173	11,42126	3,729185	25968,33	10,58502	0	0	0	0
4460,1001	17,4677925	1,78635371	19024,8691	13,0904179	11,35288	3,706988	25659,22	10,55328	0	0	0	0
4470,1001	17,3578033	1,74480021	18465,3145	13,04914	11,28434	3,68469	25350,9	10,52138	0	0	0	0
4480,1001	17,2474136	1,70275652	17905,7578	13,0075798	11,21564	3,662288	25043,38	10,4893	0	0	0	0
4490,1001	17,1366177	1,66021037	17346,2031	12,9657326	11,14678	3,639782	24736,66	10,45705	0	0	0	0
4500,1001	17,0254135	1,61714935	16786,6484	12,9235954	11,07776	3,617169	24430,76	10,42463	0	0	0	0
4510,1001	16,9137993	1,57356036	16227,0938	12,8811636	11,00857	3,594448	24125,67	10,39202	0	0	0	0
4520,1001	16,8017693	1,52942991	15667,5391	12,8384323	10,93922	3,571618	23821,4	10,35923	0	0	0	0
4530,1001	16,6893196	1,48474431	15107,9834	12,7953987	10,86969	3,548675	23517,97	10,32626	0	0	0	0
4540,1001	16,5764503	1,43948901	14548,4287	12,752058	10,80001	3,52562	23215,37	10,29311	0	0	0	0
4550,1001	16,4631577	1,3936491	13988,874	12,7084055	10,73015	3,502449	22913,62	10,25976	0	0	0	0
4560,1001	16,3494358	1,3472091	13429,3193	12,6644373	10,66012	3,479161	22612,71	10,22623	0	0	0	0
4570,1001	16,2352848	1,30015314	12869,7637	12,6201477	10,58991	3,455754	22312,67	10,1925	0	0	0	0
4580,1001	16,1206989	1,25246441	12310,209	12,5755339	10,51954	3,432226	22013,48	10,15858	0	0	0	0
4590,1001	16,0056763	1,20412576	11750,6543	12,5305901	10,44899	3,408574	21715,17	10,12445	0	0	0	0
4600,1001	15,890213	1,1551193	11191,0986	12,4853115	10,37826	3,384797	21417,73	10,09013	0	0	0	0
4610,1001	15,7743073	1,10542643	10631,5439	12,4396925	10,30736	3,360893	21121,18	10,0556	0	0	0	0
4620,1001	15,6579561	1,05502796	10071,9893	12,3937302	10,23628	3,336858	20825,52	10,02087	0	0	0	0
4630,1001	15,5411558	1,00390399	9512,43457	12,3474178	10,16501	3,312691	20530,76	9,985929	0	0	0	0
4640,1001	15,4239035	0,95203352	8952,87891	12,3007517	10,09357	3,288389	20236,9	9,950774	0	0	0	0
4650,1001	15,3061962	0,89939517	8393,32422	12,2537251	10,02194	3,263949	19943,96	9,915404	0	0	0	0
4660,1001	15,1880312	0,8459664	7833,76953	12,2063341	9,95013	3,23937	19651,94	9,879816	0	0	0	0
4670,1001	15,0694065	0,79172391	7274,21436	12,1585722	9,878133	3,214647	19360,85	9,844007	0	0	0	0
4680,1001	14,9503193	0,73664343	6714,65967	12,1104345	9,805948	3,189779	19070,69	9,807974	0	0	0	0
4690,1001	14,8307667	0,68069983	6155,10449	12,0619164	9,733576	3,164762	18781,47	9,771713	0	0	0	0
4700,1001	14,7107468	0,62386674	5595,54932	12,013011	9,661014	3,139593	18493,21	9,735222	0	0	0	0
4710,1001	14,5902576	0,56611687	5035,99463	11,9637127	9,588261	3,114269	18205,9	9,698497	0	0	0	0
4720,1001	14,4692955	0,50742179	4476,43945	11,9140167	9,515314	3,088788	17919,56	9,661533	0	0	0	0

4730,1001	14,3478603	0,44775191	3916,88477	11,8639164	9,442175	3,063144	17634,2	9,624331	0	0	0	0
4740,1001	14,2259502	0,38707626	3357,32983	11,813406	9,36884	3,037335	17349,81	9,586883	0	0	0	0
4750,1001	14,1035624	0,32536268	2797,77466	11,7624807	9,295308	3,011357	17066,41	9,549188	0	0	0	0
4760,1001	13,9806957	0,26257765	2238,21973	11,711133	9,221579	2,985205	16784,01	9,51124	0	0	0	0
4770,1001	13,8573503	0,19868615	1678,66492	11,6593571	9,147651	2,958877	16502,61	9,473038	0	0	0	0
4780,1001	13,7335243	0,13365172	1119,10986	11,6071472	9,073521	2,932368	16222,23	9,434577	0	0	0	0
4790,1001	13,6092176	0,06743625	559,554932	11,5544977	8,999189	2,905673	15942,86	9,395853	0	0	0	0
4800,1001	13,4844294	4,7044E-13	3,8677E-09	11,5014019	8,924655	2,878787	15664,52	9,356862	0	0	0	0
4810,1001	13,365303	0	0	11,4504852	8,849916	2,851707	15387,22	9,3176	0	0	0	0
4820,1001	13,2514582	0	0	11,4016142	8,774973	2,824432	15111	9,278065	0	0	0	0
4830,1001	13,1409788	0	0	11,3539858	8,699879	2,797069	14836,54	9,238279	0	0	0	0
4840,1001	13,0331841	0	0	11,3073225	8,624789	2,769911	14565,67	9,198325	0	0	0	0
4850,1001	12,9276857	0	0	11,2614651	8,549903	2,743276	14300,36	9,158305	0	0	0	0
4860,1001	12,8242226	0	0	11,2163105	8,475398	2,717384	14041,94	9,118315	0	0	0	0
4870,1001	12,7226067	0	0	11,1717844	8,40141	2,692352	13791,14	9,078427	0	0	0	0
4880,1001	12,6226931	0	0	11,1278305	8,328037	2,668224	13548,19	9,038697	0	0	0	0
4890,1001	12,5243654	0	0	11,0844049	8,25535	2,644997	13313,03	8,999166	0	0	0	0
4900,1001	12,4275303	0	0	11,0414705	8,183397	2,62264	13085,45	8,959862	0	0	0	0
4910,1001	12,3321085	0	0	10,9989996	8,112211	2,601107	12865,12	8,920807	0	0	0	0
4920,1001	12,2380333	0	0	10,9569664	8,041815	2,580345	12651,68	8,882015	0	0	0	0
4930,1001	12,1452446	0	0	10,915349	7,972221	2,560301	12444,76	8,8435	0	0	0	0
4940,1001	12,0536938	0	0	10,8741312	7,903439	2,54092	12244	8,805267	0	0	0	0
4950,1001	11,963335	0	0	10,8332968	7,835472	2,522152	12049,05	8,767324	0	0	0	0
4960,1001	11,8741274	0	0	10,7928305	7,768321	2,503949	11859,57	8,729675	0	0	0	0
4970,1001	11,7860355	0	0	10,7527208	7,701983	2,486265	11675,25	8,692322	0	0	0	0
4980,1001	11,6990252	0	0	10,7129564	7,636456	2,469062	11495,82	8,655266	0	0	0	0
4990,1001	11,6130676	0	0	10,6735277	7,571732	2,452301	11321,01	8,618508	0	0	0	0
5000,1001	11,5281353	0	0	10,6344261	7,507806	2,435948	11150,58	8,582049	0	0	0	0
5010,1001	11,4442024	0	0	10,5956421	7,44467	2,419975	10984,3	8,545889	0	0	0	0
5020,1001	11,3612452	0	0	10,557169	7,382316	2,404352	10821,98	8,510025	0	0	0	0
5030,1001	11,2792416	0	0	10,5190001	7,320735	2,389055	10663,43	8,474456	0	0	0	0
5040,1001	11,1981716	0	0	10,4811287	7,259917	2,374062	10508,48	8,439181	0	0	0	0
5050,1001	11,1180143	0	0	10,4435492	7,199854	2,359353	10356,97	8,4042	0	0	0	0
5060,1001	11,0387526	0	0	10,4062557	7,140534	2,344909	10208,76	8,369507	0	0	0	0
5070,1001	10,9603682	0	0	10,3692436	7,081949	2,330715	10063,71	8,335102	0	0	0	0
5080,1001	10,8828449	0	0	10,3325071	7,024087	2,316755	9921,703	8,300982	0	0	0	0
5090,1001	10,8061676	0	0	10,2960434	6,966938	2,303017	9782,624	8,267143	0	0	0	0

5100,1001	10,7303209	0	0	10,2598467	6,910492	2,289489	9646,367	8,233585	0	0	0	0
5110,1001	10,6552896	0	0	10,2239132	6,854739	2,27616	9512,833	8,200304	0	0	0	0
5120,1001	10,5810614	0	0	10,1882391	6,799667	2,26302	9381,932	8,167296	0	0	0	0
5130,1001	10,5076208	0	0	10,1528206	6,745267	2,250061	9253,576	8,134561	0	0	0	0
5140,1001	10,4349575	0	0	10,1176548	6,691529	2,237274	9127,688	8,102092	0	0	0	0
5150,1001	10,3630571	0	0	10,082737	6,638441	2,224653	9004,189	8,069889	0	0	0	0
5160,1001	10,2919083	0	0	10,0480652	6,585994	2,212191	8883,012	8,037948	0	0	0	0
5170,1001	10,2214994	0	0	10,0136356	6,534178	2,199883	8764,087	8,006266	0	0	0	0
5180,1001	10,1518192	0	0	9,97944641	6,482984	2,187721	8647,352	7,97484	0	0	0	0
5190,1001	10,0828562	0	0	9,94549274	6,4324	2,175703	8532,746	7,943667	0	0	0	0
5200,1001	10,0146008	0	0	9,91177273	6,382418	2,163823	8420,214	7,912744	0	0	0	0
5210,1001	9,94704151	0	0	9,8782835	6,333028	2,152077	8309,7	7,882069	0	0	0	0
5220,1001	9,88016891	0	0	9,8450222	6,284221	2,140461	8201,153	7,851637	0	0	0	0
5230,1001	9,81397247	0	0	9,81198597	6,235987	2,128972	8094,524	7,821447	0	0	0	0
5240,1001	9,74844265	0	0	9,7791729	6,188318	2,117606	7989,765	7,791495	0	0	0	0
5250,1001	9,68357086	0	0	9,74658012	6,141205	2,106361	7886,831	7,761779	0	0	0	0
5260,1001	9,61934662	0	0	9,71420574	6,094638	2,095233	7785,677	7,732296	0	0	0	0
5270,1001	9,55576134	0	0	9,68204594	6,04861	2,08422	7686,264	7,703043	0	0	0	0
5280,1001	9,49280643	0	0	9,65009975	6,003112	2,073319	7588,55	7,674016	0	0	0	0
5290,1001	9,43047333	0	0	9,61836529	5,958136	2,062528	7492,496	7,645215	0	0	0	0
5300,1001	9,36875248	0	0	9,58683777	5,913672	2,051846	7398,065	7,616635	0	0	0	0
5310,1001	9,30763721	0	0	9,55551815	5,869715	2,041268	7305,22	7,588274	0	0	0	0
5320,1001	9,247118	0	0	9,52440166	5,826255	2,030795	7213,928	7,56013	0	0	0	0
5330,1001	9,18718719	0	0	9,49348736	5,783285	2,020423	7124,152	7,532199	0	0	0	0
5340,1001	9,12783718	0	0	9,46277332	5,740798	2,010152	7035,862	7,50448	0	0	0	0
5350,1001	9,06906033	0	0	9,43225765	5,698785	1,999979	6949,025	7,47697	0	0	0	0
5360,1001	9,01084805	0	0	9,40193748	5,65724	1,989902	6863,61	7,449666	0	0	0	0
5370,1001	8,95319366	0	0	9,37181091	5,616156	1,979921	6779,587	7,422566	0	0	0	0
5380,1001	8,89609051	0	0	9,34187603	5,575525	1,970033	6696,927	7,395668	0	0	0	0
5390,1001	8,83952999	0	0	9,31213093	5,535342	1,960238	6615,602	7,368969	0	0	0	0
5400,1001	8,78350544	0	0	9,28257465	5,495598	1,950532	6535,583	7,342467	0	0	0	0
5410,1001	8,72801113	0	0	9,25320435	5,456288	1,940917	6456,845	7,316159	0	0	0	0
5420,1001	8,67303848	0	0	9,2240181	5,417405	1,931389	6379,362	7,290044	0	0	0	0
5430,1001	8,61858177	0	0	9,195014	5,378942	1,921948	6303,107	7,264119	0	0	0	0
5440,1001	8,56463432	0	0	9,1661911	5,340893	1,912592	6228,057	7,238381	0	0	0	0
5450,1001	8,51118946	0	0	9,13754749	5,303253	1,903321	6154,186	7,21283	0	0	0	0
5460,1001	8,45824051	0	0	9,10908031	5,266015	1,894133	6081,472	7,187462	0	0	0	0

5470,1001	8,40578175	0	0	9,08078861	5,229173	1,885026	6009,892	7,162276	0	0	0	0
5480,1001	8,3538065	0	0	9,05267048	5,192722	1,876001	5939,423	7,137269	0	0	0	0
5490,1001	8,30230999	0	0	9,02472496	5,156656	1,867055	5870,044	7,112439	0	0	0	0
5500,1001	8,25128365	0	0	8,9969492	5,120969	1,858187	5801,733	7,087785	0	0	0	0
5510,1001	8,2007246	0	0	8,96934223	5,085655	1,849397	5734,47	7,063305	0	0	0	0
5520,1001	8,15062428	0	0	8,94190311	5,05071	1,840683	5668,234	7,038996	0	0	0	0
5530,1001	8,10097885	0	0	8,91462898	5,016129	1,832045	5603,006	7,014857	0	0	0	0
5540,1001	8,05178261	0	0	8,88751888	4,981905	1,823482	5538,766	6,990886	0	0	0	0
5550,1001	8,00302887	0	0	8,86057091	4,948033	1,814992	5475,496	6,96708	0	0	0	0
5560,1001	7,95471287	0	0	8,8337841	4,91451	1,806574	5413,176	6,943439	0	0	0	0
5570,1001	7,90682983	0	0	8,80715656	4,88133	1,798228	5351,791	6,91996	0	0	0	0
5580,1001	7,85937357	0	0	8,78068638	4,848487	1,789953	5291,32	6,896641	0	0	0	0
5590,1001	7,81233883	0	0	8,7543726	4,815979	1,781747	5231,748	6,873482	0	0	0	0
5600,1001	7,7657218	0	0	8,72821426	4,783798	1,773611	5173,058	6,850479	0	0	0	0
5610,1001	7,7195158	0	0	8,70220947	4,751943	1,765542	5115,233	6,827632	0	0	0	0
5620,1001	7,67371702	0	0	8,67635632	4,720406	1,757541	5058,258	6,804938	0	0	0	0
5630,1001	7,62832022	0	0	8,65065479	4,689185	1,749606	5002,116	6,782397	0	0	0	0
5640,1001	7,58332062	0	0	8,62510109	4,658275	1,741736	4946,792	6,760006	0	0	0	0
5650,1001	7,53871346	0	0	8,59969616	4,627672	1,733931	4892,272	6,737764	0	0	0	0
5660,1001	7,49449396	0	0	8,5744381	4,597371	1,72619	4838,541	6,715669	0	0	0	0
5670,1001	7,45065784	0	0	8,54932499	4,567369	1,718512	4785,583	6,69372	0	0	0	0
5680,1001	7,40720081	0	0	8,52435589	4,537661	1,710897	4733,387	6,671915	0	0	0	0
5690,1001	7,36411762	0	0	8,49952888	4,508243	1,703343	4681,937	6,650253	0	0	0	0
5700,1001	7,32140398	0	0	8,47484398	4,479112	1,69585	4631,221	6,628732	0	0	0	0
5710,1001	7,27905607	0	0	8,45029831	4,450264	1,688417	4581,225	6,607351	0	0	0	0
5720,1001	7,23706961	0	0	8,42589188	4,421694	1,681043	4531,936	6,586108	0	0	0	0
5730,1001	7,19544029	0	0	8,40162277	4,3934	1,673728	4483,342	6,565002	0	0	0	0
5740,1001	7,15416384	0	0	8,377491	4,365377	1,666471	4435,431	6,544032	0	0	0	0
5750,1001	7,11323643	0	0	8,35349369	4,337623	1,659271	4388,19	6,523195	0	0	0	0
5760,1001	7,07265377	0	0	8,3296299	4,310133	1,652128	4341,608	6,502492	0	0	0	0
5770,1001	7,03241253	0	0	8,30589962	4,282904	1,645041	4295,673	6,48192	0	0	0	0
5780,1001	6,99250793	0	0	8,28230095	4,255932	1,638009	4250,375	6,461478	0	0	0	0
5790,1001	6,95293665	0	0	8,25883198	4,229215	1,631032	4205,701	6,441164	0	0	0	0
5800,1001	6,91369438	0	0	8,23549271	4,202749	1,624109	4161,642	6,420979	0	0	0	0
5810,1001	6,87477827	0	0	8,21228218	4,17653	1,617239	4118,186	6,400919	0	0	0	0
5820,1001	6,83618402	0	0	8,18919849	4,150557	1,610422	4075,324	6,380984	0	0	0	0
5830,1001	6,79790831	0	0	8,16624069	4,124824	1,603657	4033,044	6,361173	0	0	0	0

5840,1001	6,75994778	0	0	8,14340782	4,09933	1,596943	3991,338	6,341485	0	0	0	0
5850,1001	6,72229815	0	0	8,12069893	4,074072	1,59028	3950,195	6,321918	0	0	0	0
5860,1001	6,68495655	0	0	8,09811211	4,049046	1,583668	3909,606	6,302471	0	0	0	0
5870,1001	6,64791918	0	0	8,07564735	4,024249	1,577106	3869,562	6,283143	0	0	0	0
5880,1001	6,61118317	0	0	8,05330372	3,999679	1,570593	3830,053	6,263932	0	0	0	0
5890,1001	6,57474447	0	0	8,03108025	3,975332	1,564128	3791,071	6,244839	0	0	0	0
5900,1001	6,53860092	0	0	8,00897503	3,951207	1,557711	3752,606	6,225861	0	0	0	0
5910,1001	6,50274849	0	0	7,98698711	3,927299	1,551343	3714,65	6,206997	0	0	0	0
5920,1001	6,46718359	0	0	7,96511602	3,903608	1,545021	3677,196	6,188246	0	0	0	0
5930,1001	6,43190432	0	0	7,94336081	3,880129	1,538746	3640,233	6,169608	0	0	0	0
5940,1001	6,39690638	0	0	7,92172003	3,85686	1,532516	3603,754	6,151081	0	0	0	0
5950,1001	6,36218739	0	0	7,90019369	3,833799	1,526332	3567,752	6,132664	0	0	0	0
5960,1001	6,32774401	0	0	7,87877989	3,810943	1,520194	3532,219	6,114356	0	0	0	0
5970,1001	6,29357386	0	0	7,85747814	3,78829	1,514099	3497,146	6,096156	0	0	0	0
5980,1001	6,25967312	0	0	7,83628702	3,765836	1,508049	3462,527	6,078063	0	0	0	0
5990,1001	6,22603989	0	0	7,81520653	3,743581	1,502043	3428,354	6,060077	0	0	0	0
6000,1001	6,19267035	0	0	7,79423475	3,721521	1,496079	3394,62	6,042195	0	0	0	0
6010,1001	6,15956211	0	0	7,7733717	3,699653	1,490158	3361,317	6,024417	0	0	0	0
6020,1001	6,1267128	0	0	7,75261593	3,677977	1,484279	3328,44	6,006742	0	0	0	0
6030,1001	6,09411907	0	0	7,7319665	3,656489	1,478442	3295,98	5,98917	0	0	0	0
6040,1001	6,06177855	0	0	7,71142292	3,635187	1,472646	3263,933	5,971699	0	0	0	0
6050,1001	6,02968836	0	0	7,69098425	3,614069	1,46689	3232,29	5,954328	0	0	0	0
6060,1001	5,99784613	0	0	7,67065001	3,593133	1,461175	3201,046	5,937056	0	0	0	0
6070,1001	5,96624899	0	0	7,65041828	3,572376	1,4555	3170,194	5,919883	0	0	0	0
6080,1001	5,93489456	0	0	7,63028908	3,551798	1,449865	3139,728	5,902807	0	0	0	0
6090,1001	5,90377998	0	0	7,61026192	3,531394	1,444269	3109,642	5,885828	0	0	0	0
6100,1001	5,87290335	0	0	7,59033489	3,511164	1,438711	3079,931	5,868946	0	0	0	0
6110,1001	5,84226227	0	0	7,570508	3,491106	1,433192	3050,587	5,852157	0	0	0	0
6120,1001	5,81185341	0	0	7,5507803	3,471216	1,42771	3021,607	5,835464	0	0	0	0
6130,1001	5,78167534	0	0	7,53115082	3,451495	1,422266	2992,983	5,818863	0	0	0	0
6140,1001	5,7517252	0	0	7,51161909	3,431939	1,416859	2964,712	5,802354	0	0	0	0
6150,1001	5,7220006	0	0	7,49218416	3,412546	1,411489	2936,786	5,785938	0	0	0	0
6160,1001	5,69249964	0	0	7,47284555	3,393315	1,406155	2909,201	5,769612	0	0	0	0
6170,1001	5,66321945	0	0	7,45360231	3,374244	1,400857	2881,952	5,753376	0	0	0	0
6180,1001	5,63415861	0	0	7,43445349	3,355332	1,395595	2855,033	5,73723	0	0	0	0
6190,1001	5,60531425	0	0	7,41539812	3,336576	1,390368	2828,44	5,721172	0	0	0	0
6200,1001	5,576684	0	0	7,39643621	3,317974	1,385176	2802,167	5,705202	0	0	0	0

6210,1001	5,54826641	0	0	7,37756729	3,299525	1,380018	2776,211	5,689318	0	0	0	0
6220,1001	5,52005911	0	0	7,35878944	3,281227	1,374895	2750,565	5,673521	0	0	0	0
6230,1001	5,49206018	0	0	7,34010267	3,263079	1,369805	2725,226	5,657809	0	0	0	0
6240,1001	5,46426678	0	0	7,3215065	3,245078	1,364749	2700,189	5,642182	0	0	0	0
6250,1001	5,43667746	0	0	7,30299997	3,227224	1,359726	2675,449	5,626639	0	0	0	0
6260,1001	5,40929031	0	0	7,28458214	3,209514	1,354736	2651,002	5,611179	0	0	0	0
6270,1001	5,38210297	0	0	7,26625299	3,191947	1,349778	2626,844	5,595802	0	0	0	0
6280,1001	5,35511351	0	0	7,24801111	3,174521	1,344853	2602,969	5,580506	0	0	0	0
6290,1001	5,3283205	0	0	7,22985649	3,157235	1,339959	2579,376	5,565292	0	0	0	0
6300,1001	5,3017211	0	0	7,2117877	3,140088	1,335097	2556,058	5,550159	0	0	0	0
6310,1001	5,27531433	0	0	7,19380522	3,123077	1,330266	2533,012	5,535105	0	0	0	0
6320,1001	5,24909782	0	0	7,17590761	3,106201	1,325466	2510,235	5,52013	0	0	0	0
6330,1001	5,22306967	0	0	7,15809441	3,089459	1,320697	2487,722	5,505233	0	0	0	0
6340,1001	5,19722843	0	0	7,14036465	3,07285	1,315958	2465,469	5,490415	0	0	0	0
6350,1001	5,17157173	0	0	7,12271881	3,056371	1,311249	2443,473	5,475674	0	0	0	0
6360,1001	5,14609861	0	0	7,10515499	3,040022	1,30657	2421,729	5,461009	0	0	0	0
6370,1001	5,12080622	0	0	7,08767319	3,023802	1,30192	2400,236	5,44642	0	0	0	0
6380,1001	5,09569407	0	0	7,07027292	3,007708	1,2973	2378,988	5,431907	0	0	0	0
6390,1001	5,0707593	0	0	7,05295324	2,991739	1,292708	2357,982	5,417468	0	0	0	0
6400,1001	5,04600096	0	0	7,03571367	2,975895	1,288145	2337,215	5,403103	0	0	0	0
6410,1001	5,02141714	0	0	7,01855421	2,960173	1,283611	2316,683	5,388812	0	0	0	0
6420,1001	4,99700594	0	0	7,00147343	2,944573	1,279104	2296,384	5,374594	0	0	0	0
6430,1001	4,97276592	0	0	6,98447084	2,929093	1,274626	2276,313	5,360448	0	0	0	0
6440,1001	4,94869566	0	0	6,96754646	2,913732	1,270175	2256,468	5,346374	0	0	0	0
6450,1001	4,92479324	0	0	6,95069933	2,898489	1,265751	2236,845	5,33237	0	0	0	0
6460,1001	4,90105724	0	0	6,93392897	2,883362	1,261354	2217,442	5,318438	0	0	0	0
6470,1001	4,87748623	0	0	6,9172349	2,86835	1,256984	2198,256	5,304575	0	0	0	0
6480,1001	4,85407877	0	0	6,90061665	2,853453	1,252641	2179,282	5,290782	0	0	0	0
6490,1001	4,83083248	0	0	6,88407326	2,838668	1,248324	2160,519	5,277058	0	0	0	0
6500,1001	4,80774689	0	0	6,86760473	2,823996	1,244033	2141,964	5,263402	0	0	0	0
6510,1001	4,78482008	0	0	6,85121059	2,809433	1,239768	2123,613	5,249814	0	0	0	0
6520,1001	4,76205063	0	0	6,83488941	2,794981	1,235528	2105,464	5,236293	0	0	0	0
6530,1001	4,73943663	0	0	6,81864166	2,780636	1,231314	2087,513	5,222838	0	0	0	0
6540,1001	4,7169776	0	0	6,80246639	2,766399	1,227125	2069,76	5,209451	0	0	0	0
6550,1001	4,69467115	0	0	6,78636312	2,752269	1,222961	2052,2	5,196129	0	0	0	0
6560,1001	4,67251682	0	0	6,77033138	2,738243	1,218822	2034,831	5,182872	0	0	0	0
6570,1001	4,65051222	0	0	6,75437117	2,724321	1,214707	2017,65	5,16968	0	0	0	0

6580,1001	4,62865686	0	0	6,73848104	2,710502	1,210616	2000,656	5,156552	0	0	0	0
6590,1001	4,60694885	0	0	6,72266102	2,696785	1,206549	1983,844	5,143487	0	0	0	0
6600,1001	4,58538723	0	0	6,70691061	2,683169	1,202506	1967,214	5,130486	0	0	0	0
6610,1001	4,56397057	0	0	6,69122934	2,669653	1,198487	1950,762	5,117548	0	0	0	0
6620,1001	4,54269695	0	0	6,67561674	2,656236	1,194491	1934,487	5,104672	0	0	0	0
6630,1001	4,52156591	0	0	6,66007233	2,642917	1,190518	1918,385	5,091858	0	0	0	0
6640,1001	4,50057602	0	0	6,64459562	2,629695	1,186568	1902,455	5,079105	0	0	0	0
6650,1001	4,47972536	0	0	6,62918615	2,616569	1,182641	1886,694	5,066413	0	0	0	0
6660,1001	4,45901346	0	0	6,61384344	2,603538	1,178737	1871,1	5,053782	0	0	0	0
6670,1001	4,43843889	0	0	6,59856701	2,590601	1,174855	1855,671	5,04121	0	0	0	0
6680,1001	4,41800022	0	0	6,58335638	2,577758	1,170995	1840,405	5,028698	0	0	0	0
6690,1001	4,3976965	0	0	6,56821156	2,565006	1,167157	1825,299	5,016245	0	0	0	0
6700,1001	4,37752628	0	0	6,55313158	2,552347	1,163341	1810,351	5,00385	0	0	0	0
6710,1001	4,35748863	0	0	6,53811598	2,539777	1,159546	1795,56	4,991514	0	0	0	0
6720,1001	4,33758211	0	0	6,52316475	2,527298	1,155773	1780,924	4,979236	0	0	0	0
6730,1001	4,31780577	0	0	6,50827742	2,514907	1,152022	1766,439	4,967015	0	0	0	0
6740,1001	4,29815817	0	0	6,49345303	2,502604	1,148291	1752,105	4,954851	0	0	0	0
6750,1001	4,27863884	0	0	6,47869158	2,490388	1,144581	1737,92	4,942743	0	0	0	0
6760,1001	4,25924587	0	0	6,4639926	2,478258	1,140892	1723,881	4,930691	0	0	0	0
6770,1001	4,23997879	0	0	6,44935608	2,466214	1,137223	1709,986	4,918695	0	0	0	0
6780,1001	4,22083616	0	0	6,4347806	2,454255	1,133575	1696,235	4,906754	0	0	0	0
6790,1001	4,20181704	0	0	6,42026711	2,442379	1,129947	1682,625	4,894869	0	0	0	0
6800,1001	4,18292046	0	0	6,40581369	2,430587	1,126338	1669,153	4,883038	0	0	0	0
6810,1001	4,16414547	0	0	6,39142132	2,418876	1,12275	1655,819	4,87126	0	0	0	0
6820,1001	4,14549017	0	0	6,37708855	2,407247	1,119182	1642,621	4,859537	0	0	0	0
6830,1001	4,12695456	0	0	6,36281586	2,395699	1,115633	1629,557	4,847867	0	0	0	0
6840,1001	4,1085372	0	0	6,34860229	2,384231	1,112103	1616,625	4,836249	0	0	0	0
6850,1001	4,09023666	0	0	6,33444738	2,372842	1,108592	1603,824	4,824684	0	0	0	0
6860,1001	4,07205296	0	0	6,32035112	2,361531	1,105101	1591,152	4,813172	0	0	0	0
6870,1001	4,05398417	0	0	6,30631304	2,350298	1,101628	1578,608	4,801711	0	0	0	0
6880,1001	4,03602982	0	0	6,29233265	2,339143	1,098174	1566,189	4,790301	0	0	0	0
6890,1001	4,01818895	0	0	6,27840996	2,328063	1,094739	1553,894	4,778943	0	0	0	0
6900,1001	4,00046015	0	0	6,26454401	2,317059	1,091322	1541,723	4,767636	0	0	0	0
6910,1001	3,98284292	0	0	6,25073481	2,30613	1,087923	1529,672	4,756379	0	0	0	0
6920,1001	3,96533608	0	0	6,23698235	2,295275	1,084543	1517,741	4,745172	0	0	0	0
6930,1001	3,94793892	0	0	6,2232852	2,284494	1,08118	1505,929	4,734014	0	0	0	0
6940,1001	3,93065023	0	0	6,20964384	2,273786	1,077836	1494,233	4,722906	0	0	0	0

6950,1001	3,91346955	0	0	6,19605827	2,26315	1,074509	1482,652	4,711847	0	0	0	0
6960,1001	3,89639544	0	0	6,18252707	2,252585	1,071199	1471,186	4,700836	0	0	0	0
6970,1001	3,87942743	0	0	6,16905069	2,242091	1,067907	1459,832	4,689874	0	0	0	0
6980,1001	3,86256456	0	0	6,1556282	2,231668	1,064632	1448,589	4,678959	0	0	0	0
6990,1001	3,84580588	0	0	6,1422596	2,221314	1,061374	1437,457	4,668093	0	0	0	0
7000,1001	3,82915044	0	0	6,12894487	2,211029	1,058134	1426,433	4,657274	0	0	0	0
7010,1001	3,81259751	0	0	6,11568356	2,200813	1,05491	1415,516	4,646502	0	0	0	0
7020,1001	3,79614639	0	0	6,10247469	2,190664	1,051703	1404,705	4,635776	0	0	0	0
7030,1001	3,77979612	0	0	6,08931828	2,180583	1,048512	1393,999	4,625096	0	0	0	0
7040,1001	3,76354575	0	0	6,07621479	2,170568	1,045338	1383,396	4,614463	0	0	0	0
7050,1001	3,74739456	0	0	6,0631628	2,160619	1,042181	1372,895	4,603876	0	0	0	0
7060,1001	3,73134184	0	0	6,05016232	2,150736	1,039039	1362,495	4,593334	0	0	0	0
7070,1001	3,71538663	0	0	6,03721333	2,140917	1,035914	1352,196	4,582837	0	0	0	0
7080,1001	3,69952822	0	0	6,02431488	2,131162	1,032804	1341,995	4,572385	0	0	0	0
7090,1001	3,68376589	0	0	6,01146746	2,121472	1,029711	1331,891	4,561977	0	0	0	0
7100,1001	3,66809869	0	0	5,99867058	2,111844	1,026633	1321,883	4,551614	0	0	0	0
7110,1001	3,6525259	0	0	5,98592329	2,102279	1,02357	1311,971	4,541295	0	0	0	0
7120,1001	3,63704705	0	0	5,97322607	2,092776	1,020523	1302,153	4,531019	0	0	0	0
7130,1001	3,62166095	0	0	5,96057844	2,083334	1,017492	1292,427	4,520786	0	0	0	0
7140,1001	3,60636735	0	0	5,94797993	2,073954	1,014476	1282,794	4,510597	0	0	0	0
7150,1001	3,59116507	0	0	5,93543005	2,064634	1,011475	1273,251	4,500451	0	0	0	0
7160,1001	3,57605338	0	0	5,92292881	2,055373	1,008489	1263,799	4,490347	0	0	0	0
7170,1001	3,56103206	0	0	5,91047573	2,046173	1,005517	1254,434	4,480285	0	0	0	0
7180,1001	3,5460999	0	0	5,89807081	2,037031	1,002561	1245,158	4,470265	0	0	0	0
7190,1001	3,5312562	0	0	5,88571358	2,027947	0,999619	1235,968	4,460287	0	0	0	0
7200,1001	3,51650071	0	0	5,87340355	2,018921	0,996692	1226,864	4,45035	0	0	0	0
7210,1001	3,50183225	0	0	5,8611412	2,009953	0,993779	1217,845	4,440454	0	0	0	0
7220,1001	3,48725033	0	0	5,84892511	2,001041	0,990881	1208,909	4,4306	0	0	0	0
7230,1001	3,47275448	0	0	5,83675623	1,992186	0,987997	1200,056	4,420786	0	0	0	0
7240,1001	3,45834374	0	0	5,82463312	1,983387	0,985126	1191,285	4,411012	0	0	0	0
7250,1001	3,44401741	0	0	5,81255627	1,974643	0,98227	1182,595	4,401278	0	0	0	0
7260,1001	3,429775	0	0	5,80052519	1,965955	0,979428	1173,985	4,391585	0	0	0	0
7270,1001	3,4156158	0	0	5,78853941	1,957321	0,9766	1165,453	4,38193	0	0	0	0
7280,1001	3,40153909	0	0	5,77659941	1,94874	0,973786	1157	4,372316	0	0	0	0
7290,1001	3,38754439	0	0	5,76470375	1,940214	0,970985	1148,625	4,36274	0	0	0	0
7300,1001	3,37363124	0	0	5,75285339	1,931741	0,968197	1140,326	4,353203	0	0	0	0
7310,1001	3,35979843	0	0	5,74104738	1,92332	0,965423	1132,102	4,343705	0	0	0	0

7320,1001	3,34604573	0	0	5,72928524	1,914952	0,962663	1123,953	4,334245	0	0	0	0
7330,1001	3,33237243	0	0	5,71756697	1,906635	0,959915	1115,878	4,324823	0	0	0	0
7340,1001	3,31877804	0	0	5,70589304	1,89837	0,957181	1107,876	4,315439	0	0	0	0
7350,1001	3,30526185	0	0	5,69426203	1,890156	0,95446	1099,946	4,306093	0	0	0	0
7360,1001	3,29182339	0	0	5,68267441	1,881993	0,951751	1092,088	4,296783	0	0	0	0
7370,1001	3,27846193	0	0	5,6711297	1,873879	0,949056	1084,301	4,287512	0	0	0	0
7380,1001	3,26517677	0	0	5,65962744	1,865816	0,946373	1076,583	4,278277	0	0	0	0
7390,1001	3,25196767	0	0	5,64816809	1,857802	0,943703	1068,934	4,269079	0	0	0	0
7400,1001	3,2388339	0	0	5,6367507	1,849836	0,941046	1061,354	4,259917	0	0	0	0
7410,1001	3,22577477	0	0	5,62537527	1,84192	0,938401	1053,842	4,250792	0	0	0	0
7420,1001	3,21278977	0	0	5,61404181	1,834051	0,935768	1046,396	4,241703	0	0	0	0
7430,1001	3,19987822	0	0	5,60274982	1,82623	0,933148	1039,016	4,232649	0	0	0	0
7440,1001	3,18703985	0	0	5,59149885	1,818457	0,93054	1031,702	4,223631	0	0	0	0
7450,1001	3,17427421	0	0	5,58028936	1,81073	0,927944	1024,453	4,214649	0	0	0	0
7460,1001	3,16158032	0	0	5,56912041	1,80305	0,925361	1017,267	4,205701	0	0	0	0
7470,1001	3,14895797	0	0	5,55799198	1,795416	0,922789	1010,145	4,196789	0	0	0	0
7480,1001	3,13640642	0	0	5,54690409	1,787829	0,920229	1003,086	4,187911	0	0	0	0
7490,1001	3,12392521	0	0	5,53585625	1,780286	0,917681	996,0881	4,179068	0	0	0	0
7500,1001	3,11151385	0	0	5,52484846	1,772789	0,915145	989,1519	4,170259	0	0	0	0
7510,1001	3,09917188	0	0	5,51388025	1,765337	0,91262	982,2763	4,161484	0	0	0	0
7520,1001	3,0868988	0	0	5,50295162	1,757929	0,910107	975,4606	4,152744	0	0	0	0
7530,1001	3,07469392	0	0	5,49206209	1,750565	0,907605	968,7043	4,144037	0	0	0	0
7540,1001	3,06255698	0	0	5,48121166	1,743244	0,905115	962,0068	4,135363	0	0	0	0
7550,1001	3,05048728	0	0	5,47040033	1,735968	0,902636	955,3673	4,126723	0	0	0	0
7560,1001	3,03848433	0	0	5,45962715	1,728734	0,900168	948,7853	4,118116	0	0	0	0
7570,1001	3,02654767	0	0	5,44889259	1,721542	0,897712	942,2601	4,109541	0	0	0	0
7580,1001	3,01467705	0	0	5,43819666	1,714394	0,895266	935,7913	4,101	0	0	0	0
7590,1001	3,00287151	0	0	5,42753839	1,707287	0,892832	929,3781	4,092491	0	0	0	0
7600,1001	2,99113107	0	0	5,4169178	1,700222	0,890409	923,0199	4,084014	0	0	0	0
7610,1001	2,97945499	0	0	5,40633488	1,693198	0,887996	916,7162	4,07557	0	0	0	0
7620,1001	2,96784306	0	0	5,39578915	1,686215	0,885594	910,4666	4,067158	0	0	0	0
7630,1001	2,9562943	0	0	5,38528061	1,679273	0,883203	904,2702	4,058777	0	0	0	0
7640,1001	2,94480872	0	0	5,37480927	1,672372	0,880823	898,1266	4,050428	0	0	0	0
7650,1001	2,93338585	0	0	5,36437464	1,66551	0,878453	892,0354	4,04211	0	0	0	0
7660,1001	2,92202497	0	0	5,35397625	1,658688	0,876094	885,9958	4,033823	0	0	0	0
7670,1001	2,91072559	0	0	5,34361458	1,651906	0,873745	880,0074	4,025568	0	0	0	0
7680,1001	2,89948773	0	0	5,33328915	1,645163	0,871407	874,0697	4,017344	0	0	0	0

7690,1001	2,88831043	0	0	5,32299995	1,638459	0,869079	868,1821	4,00915	0	0	0	0
7700,1001	2,87719369	0	0	5,31274605	1,631793	0,866761	862,3441	4,000986	0	0	0	0
7710,1001	2,86613679	0	0	5,3025279	1,625166	0,864453	856,5552	3,992853	0	0	0	0
7720,1001	2,85513949	0	0	5,29234505	1,618576	0,862156	850,8149	3,98475	0	0	0	0
7730,1001	2,84420133	0	0	5,28219795	1,612025	0,859868	845,1227	3,976677	0	0	0	0
7740,1001	2,83332157	0	0	5,27208567	1,60551	0,857591	839,4781	3,968634	0	0	0	0
7750,1001	2,82250023	0	0	5,26200819	1,599033	0,855323	833,8806	3,960621	0	0	0	0
7760,1001	2,81173682	0	0	5,25196505	1,592593	0,853065	828,3298	3,952637	0	0	0	0
7770,1001	2,80103087	0	0	5,24195671	1,586189	0,850817	822,8251	3,944682	0	0	0	0
7780,1001	2,79038167	0	0	5,23198271	1,579822	0,848579	817,3661	3,936757	0	0	0	0
7790,1001	2,77978945	0	0	5,22204304	1,573491	0,84635	811,9525	3,92886	0	0	0	0
7800,1001	2,76925325	0	0	5,21213722	1,567195	0,844131	806,5834	3,920993	0	0	0	0
7810,1001	2,75877285	0	0	5,20226526	1,560935	0,841922	801,2589	3,913154	0	0	0	0
7820,1001	2,748348	0	0	5,19242668	1,55471	0,839722	795,9781	3,905343	0	0	0	0
7830,1001	2,73797822	0	0	5,18262148	1,54852	0,837531	790,7408	3,897561	0	0	0	0
7840,1001	2,72766304	0	0	5,17284966	1,542365	0,83535	785,5464	3,889807	0	0	0	0
7850,1001	2,71740222	0	0	5,16311121	1,536244	0,833178	780,3947	3,882081	0	0	0	0
7860,1001	2,70719552	0	0	5,15340519	1,530157	0,831016	775,2851	3,874383	0	0	0	0
7870,1001	2,69704223	0	0	5,14373255	1,524104	0,828862	770,2172	3,866712	0	0	0	0
7880,1001	2,6869421	0	0	5,13409185	1,518085	0,826718	765,1907	3,85907	0	0	0	0
7890,1001	2,67689466	0	0	5,12448406	1,5121	0,824582	760,205	3,851454	0	0	0	0
7900,1001	2,66689992	0	0	5,11490822	1,506147	0,822456	755,2599	3,843866	0	0	0	0
7910,1001	2,65695715	0	0	5,1053648	1,500228	0,820339	750,3549	3,836305	0	0	0	0
7920,1001	2,64706612	0	0	5,09585285	1,494341	0,81823	745,4895	3,828771	0	0	0	0
7930,1001	2,63722634	0	0	5,08637333	1,488487	0,816131	740,6635	3,821264	0	0	0	0
7940,1001	2,62743783	0	0	5,0769248	1,482665	0,81404	735,8763	3,813783	0	0	0	0
7950,1001	2,61769986	0	0	5,06750774	1,476875	0,811958	731,1277	3,806329	0	0	0	0
7960,1001	2,60801244	0	0	5,05812216	1,471116	0,809884	726,4173	3,798901	0	0	0	0
7970,1001	2,59837484	0	0	5,04876804	1,465389	0,807819	721,7447	3,7915	0	0	0	0
7980,1001	2,58878684	0	0	5,03944445	1,459694	0,805763	717,1095	3,784125	0	0	0	0
7990,1001	2,57924843	0	0	5,03015184	1,45403	0,803716	712,5114	3,776775	0	0	0	0
8000,1001	2,56975865	0	0	5,02088976	1,448396	0,801676	707,9499	3,769452	0	0	0	0
8010,1001	2,56031775	0	0	5,01165819	1,442793	0,799645	703,4248	3,762154	0	0	0	0
8020,1001	2,55092525	0	0	5,00245714	1,437221	0,797623	698,9357	3,754881	0	0	0	0
8030,1001	2,54158068	0	0	4,99328613	1,431678	0,795609	694,4822	3,747634	0	0	0	0
8040,1001	2,53228378	0	0	4,98414516	1,426166	0,793603	690,064	3,740413	0	0	0	0
8050,1001	2,5230341	0	0	4,97503424	1,420683	0,791605	685,6808	3,733216	0	0	0	0

8060,1001	2,51383162	0	0	4,96595287	1,41523	0,789616	681,3322	3,726044	0	0	0	0
8070,1001	2,50467587	0	0	4,95690155	1,409806	0,787634	677,0179	3,718898	0	0	0	0
8080,1001	2,49556661	0	0	4,94787931	1,404412	0,785661	672,7375	3,711776	0	0	0	0
8090,1001	2,48650336	0	0	4,93888617	1,399046	0,783695	668,4908	3,704678	0	0	0	0
8100,1001	2,47748613	0	0	4,92992258	1,393709	0,781738	664,2774	3,697606	0	0	0	0
8110,1001	2,4685142	0	0	4,92098808	1,388401	0,779788	660,097	3,690557	0	0	0	0
8120,1001	2,45958757	0	0	4,9120822	1,383121	0,777847	655,9493	3,683533	0	0	0	0
8130,1001	2,45070577	0	0	4,90320539	1,377869	0,775913	651,834	3,676532	0	0	0	0
8140,1001	2,44186854	0	0	4,8943572	1,372644	0,773987	647,7507	3,669556	0	0	0	0
8150,1001	2,43307567	0	0	4,88553715	1,367448	0,772069	643,6992	3,662604	0	0	0	0
8160,1001	2,4243269	0	0	4,8767457	1,362279	0,770158	639,6791	3,655675	0	0	0	0
8170,1001	2,41562176	0	0	4,86798239	1,357138	0,768255	635,6902	3,64877	0	0	0	0
8180,1001	2,40696025	0	0	4,85924673	1,352023	0,76636	631,7322	3,641888	0	0	0	0
8190,1001	2,39834166	0	0	4,85053921	1,346936	0,764472	627,8048	3,63503	0	0	0	0
8200,09961	2,38976622	0	0	4,84185982	1,341875	0,762592	623,9077	3,628195	0	0	0	0
8210,09961	2,38123322	0	0	4,83320761	1,336841	0,760719	620,0406	3,621383	0	0	0	0
8220,09961	2,37274265	0	0	4,82458353	1,331834	0,758853	616,2032	3,614594	0	0	0	0
8230,09961	2,36429405	0	0	4,81598616	1,326852	0,756995	612,3953	3,607828	0	0	0	0
8240,09961	2,35588717	0	0	4,80741644	1,321897	0,755144	608,6166	3,601084	0	0	0	0
8250,09961	2,34752178	0	0	4,7988739	1,316967	0,753301	604,8668	3,594363	0	0	0	0
8260,09961	2,33919787	0	0	4,79035807	1,312063	0,751465	601,1456	3,587665	0	0	0	0
8270,09961	2,33091474	0	0	4,78186941	1,307185	0,749636	597,4528	3,580989	0	0	0	0
8280,09961	2,32267237	0	0	4,77340698	1,302332	0,747814	593,7881	3,574336	0	0	0	0
8290,09961	2,31447053	0	0	4,76497173	1,297504	0,745999	590,1513	3,567704	0	0	0	0
8300,09961	2,30630875	0	0	4,75656271	1,292701	0,744192	586,5421	3,561095	0	0	0	0
8310,09961	2,29818702	0	0	4,74817991	1,287923	0,742391	582,9602	3,554508	0	0	0	0
8320,09961	2,29010487	0	0	4,73982382	1,28317	0,740597	579,4054	3,547942	0	0	0	0
8330,09961	2,28206229	0	0	4,73149347	1,278441	0,738811	575,8775	3,541399	0	0	0	0
8340,09961	2,27405882	0	0	4,72318935	1,273736	0,737031	572,3762	3,534877	0	0	0	0
8350,09961	2,26609421	0	0	4,71491098	1,269056	0,735258	568,9012	3,528376	0	0	0	0
8360,09961	2,25816822	0	0	4,70665789	1,264399	0,733492	565,4523	3,521897	0	0	0	0
8370,09961	2,25028086	0	0	4,69843102	1,259767	0,731733	562,0294	3,515439	0	0	0	0
8380,09961	2,2424314	0	0	4,69022942	1,255158	0,729981	558,6321	3,509002	0	0	0	0
8390,09961	2,23462009	0	0	4,68205357	1,250572	0,728235	555,2602	3,502587	0	0	0	0
8400,09961	2,22684646	0	0	4,67390251	1,24601	0,726496	551,9135	3,496192	0	0	0	0
8410,09961	2,21911025	0	0	4,66577673	1,241471	0,724764	548,5917	3,489818	0	0	0	0
8420,09961	2,21141148	0	0	4,65767622	1,236955	0,723038	545,2947	3,483465	0	0	0	0

8430,09961	2,20374942	0	0	4,64960003	1,232462	0,721319	542,0222	3,477133	0	0	0	0
8440,09961	2,19612432	0	0	4,64154911	1,227992	0,719606	538,774	3,470821	0	0	0	0
8450,09961	2,18853569	0	0	4,63352299	1,223544	0,7179	535,5498	3,46453	0	0	0	0
8460,09961	2,1809833	0	0	4,62552118	1,219119	0,716201	532,3495	3,458259	0	0	0	0
8470,09961	2,17346716	0	0	4,61754417	1,214716	0,714507	529,1729	3,452008	0	0	0	0
8480,09961	2,16598678	0	0	4,60959101	1,210335	0,712821	526,0197	3,445778	0	0	0	0
8490,09961	2,15854192	0	0	4,60166264	1,205976	0,71114	522,8896	3,439568	0	0	0	0
8500,09961	2,15113258	0	0	4,59375811	1,201639	0,709466	519,7827	3,433377	0	0	0	0
8510,09961	2,14375854	0	0	4,58587742	1,197324	0,707798	516,6985	3,427207	0	0	0	0
8520,09961	2,1364193	0	0	4,57802057	1,19303	0,706137	513,637	3,421056	0	0	0	0
8530,09961	2,12911487	0	0	4,57018805	1,188758	0,704481	510,5978	3,414925	0	0	0	0
8540,09961	2,12184501	0	0	4,56237888	1,184506	0,702832	507,5809	3,408813	0	0	0	0
8550,09961	2,11460948	0	0	4,55459309	1,180277	0,701189	504,5859	3,402721	0	0	0	0
8560,09961	2,10740805	0	0	4,54683113	1,176068	0,699552	501,6129	3,396649	0	0	0	0
8570,09961	2,10024071	0	0	4,53909254	1,17188	0,697922	498,6614	3,390595	0	0	0	0
8580,09961	2,09310675	0	0	4,53137684	1,167712	0,696297	495,7314	3,384562	0	0	0	0
8590,09961	2,0860064	0	0	4,52368498	1,163565	0,694678	492,8226	3,378546	0	0	0	0
8600,09961	2,07893944	0	0	4,51601553	1,159439	0,693065	489,9348	3,372551	0	0	0	0
8610,09961	2,07190561	0	0	4,50836945	1,155333	0,691459	487,068	3,366574	0	0	0	0
8620,09961	2,06490445	0	0	4,50074577	1,151247	0,689858	484,2219	3,360615	0	0	0	0
8630,09961	2,05793619	0	0	4,49314499	1,147182	0,688263	481,3963	3,354676	0	0	0	0
8640,09961	2,05100036	0	0	4,48556709	1,143136	0,686674	478,591	3,348756	0	0	0	0
8650,09961	2,04409671	0	0	4,47801161	1,13911	0,685091	475,8059	3,342854	0	0	0	0
8660,09961	2,03722525	0	0	4,47047853	1,135104	0,683513	473,0408	3,33697	0	0	0	0
8670,09961	2,03038549	0	0	4,46296787	1,131117	0,681941	470,2955	3,331105	0	0	0	0
8680,09961	2,02357769	0	0	4,45547962	1,12715	0,680376	467,5699	3,325258	0	0	0	0
8690,09961	2,01680136	0	0	4,44801331	1,123202	0,678815	464,8637	3,319429	0	0	0	0
8700,09961	2,01005626	0	0	4,44056892	1,119273	0,677261	462,1768	3,313619	0	0	0	0
8710,09961	2,00334239	0	0	4,43314648	1,115363	0,675712	459,5091	3,307826	0	0	0	0
8720,09961	1,9966594	0	0	4,42574596	1,111473	0,674169	456,8604	3,302052	0	0	0	0
8730,09961	1,99000716	0	0	4,41836739	1,107601	0,672631	454,2304	3,296295	0	0	0	0
8740,09961	1,98338556	0	0	4,41101027	1,103747	0,671099	451,6191	3,290557	0	0	0	0
8750,09961	1,97679436	0	0	4,40367508	1,099913	0,669572	449,0264	3,284836	0	0	0	0
8760,09961	1,97023332	0	0	4,39636087	1,096097	0,668051	446,4519	3,279132	0	0	0	0
8770,09961	1,96370232	0	0	4,38906813	1,092299	0,666535	443,8957	3,273446	0	0	0	0
8780,09961	1,95720124	0	0	4,38179684	1,088519	0,665025	441,3574	3,267778	0	0	0	0
8790,09961	1,95072985	0	0	4,37454653	1,084758	0,663521	438,8371	3,262127	0	0	0	0

8800,09961	1,9442879	0	0	4,36731768	1,081014	0,662021	436,3344	3,256494	0	0	0	0
8810,09961	1,93787527	0	0	4,36010981	1,077289	0,660527	433,8494	3,250877	0	0	0	0
8820,09961	1,93149185	0	0	4,35292244	1,073581	0,659038	431,3817	3,245278	0	0	0	0
8830,09961	1,92513728	0	0	4,34575605	1,069891	0,657555	428,9314	3,239696	0	0	0	0
8840,09961	1,91881168	0	0	4,33861065	1,066218	0,656077	426,4981	3,234131	0	0	0	0
8850,09961	1,91251469	0	0	4,33148575	1,062563	0,654604	424,0819	3,228583	0	0	0	0
8860,09961	1,90624607	0	0	4,32438135	1,058926	0,653136	421,6825	3,223051	0	0	0	0
8870,09961	1,90000582	0	0	4,31729746	1,055305	0,651674	419,2998	3,217537	0	0	0	0
8880,09961	1,89379382	0	0	4,31023407	1,051702	0,650217	416,9337	3,212039	0	0	0	0
8890,09961	1,8876096	0	0	4,30319071	1,048115	0,648765	414,584	3,206558	0	0	0	0
8900,09961	1,88145339	0	0	4,29616785	1,044546	0,647318	412,2505	3,201093	0	0	0	0
8910,09961	1,87532473	0	0	4,28916502	1,040993	0,645876	409,9333	3,195645	0	0	0	0
8920,09961	1,86922348	0	0	4,28218222	1,037457	0,644439	407,632	3,190213	0	0	0	0
8930,09961	1,86314964	0	0	4,27521896	1,033938	0,643007	405,3466	3,184797	0	0	0	0
8940,09961	1,85710299	0	0	4,26827621	1,030435	0,64158	403,077	3,179398	0	0	0	0
8950,09961	1,85108328	0	0	4,26135254	1,026949	0,640159	400,823	3,174015	0	0	0	0
8960,09961	1,84509051	0	0	4,25444937	1,023479	0,638742	398,5845	3,168648	0	0	0	0
8970,09961	1,83912444	0	0	4,24756527	1,020025	0,63733	396,3614	3,163297	0	0	0	0
8980,09961	1,83318484	0	0	4,24070072	1,016587	0,635923	394,1535	3,157962	0	0	0	0
8990,09961	1,8272717	0	0	4,23385572	1,013166	0,634521	391,9607	3,152643	0	0	0	0
9000,09961	1,82138479	0	0	4,22703028	1,00976	0,633124	389,783	3,14734	0	0	0	0
9010,09961	1,81552386	0	0	4,2202239	1,00637	0,631731	387,62	3,142052	0	0	0	0
9020,09961	1,80968904	0	0	4,2134366	1,002996	0,630344	385,4718	3,13678	0	0	0	0
9030,09961	1,80387986	0	0	4,20666885	0,999637	0,628961	383,3383	3,131524	0	0	0	0
9040,09961	1,79809642	0	0	4,1999197	0,996294	0,627583	381,2192	3,126283	0	0	0	0
9050,09961	1,79233849	0	0	4,19318962	0,992967	0,626209	379,1146	3,121058	0	0	0	0
9060,09961	1,78660583	0	0	4,18647861	0,989654	0,624841	377,0242	3,115848	0	0	0	0
9070,09961	1,78089833	0	0	4,17978621	0,986357	0,623477	374,9479	3,110653	0	0	0	0
9080,09961	1,77521598	0	0	4,17311287	0,983075	0,622118	372,8857	3,105474	0	0	0	0
9090,09961	1,76955855	0	0	4,16645765	0,979809	0,620763	370,8374	3,10031	0	0	0	0
9100,09961	1,76392591	0	0	4,15982151	0,976557	0,619414	368,8029	3,095161	0	0	0	0
9110,09961	1,75831795	0	0	4,15320349	0,97332	0,618068	366,7822	3,090027	0	0	0	0
9120,09961	1,75273442	0	0	4,14660406	0,970098	0,616728	364,775	3,084908	0	0	0	0
9130,09961	1,74717522	0	0	4,14002275	0,96689	0,615391	362,7813	3,079804	0	0	0	0
9140,09961	1,74164021	0	0	4,13346004	0,963698	0,61406	360,8009	3,074715	0	0	0	0
9150,09961	1,7361294	0	0	4,12691545	0,960519	0,612733	358,8339	3,069641	0	0	0	0
9160,09961	1,73064244	0	0	4,12038851	0,957356	0,61141	356,8799	3,064581	0	0	0	0

9170,09961	1,72517943	0	0	4,11388016	0,954206	0,610092	354,9391	3,059536	0	0	0	0
9180,09961	1,71973991	0	0	4,10738945	0,951071	0,608778	353,0111	3,054506	0	0	0	0
9190,09961	1,71432412	0	0	4,10091686	0,94795	0,607469	351,0961	3,04949	0	0	0	0
9200,09961	1,70893168	0	0	4,09446192	0,944843	0,606164	349,1937	3,044489	0	0	0	0
9210,09961	1,7035625	0	0	4,08802509	0,941751	0,604864	347,304	3,039502	0	0	0	0
9220,09961	1,69821644	0	0	4,08160543	0,938672	0,603568	345,4268	3,03453	0	0	0	0
9230,09961	1,69289351	0	0	4,07520342	0,935607	0,602276	343,5621	3,029572	0	0	0	0
9240,09961	1,68759334	0	0	4,06881952	0,932556	0,600989	341,7097	3,024628	0	0	0	0
9250,09961	1,68231606	0	0	4,06245232	0,929518	0,599706	339,8696	3,019698	0	0	0	0
9260,09961	1,67706132	0	0	4,05610323	0,926495	0,598427	338,0416	3,014782	0	0	0	0
9270,09961	1,67182922	0	0	4,04977083	0,923484	0,597152	336,2256	3,009881	0	0	0	0
9280,09961	1,66661942	0	0	4,04345608	0,920488	0,595882	334,4216	3,004993	0	0	0	0
9290,09961	1,66143191	0	0	4,03715849	0,917504	0,594616	332,6295	3,000119	0	0	0	0
9300,09961	1,65626657	0	0	4,03087759	0,914534	0,593354	330,8491	2,99526	0	0	0	0
9310,09961	1,65112317	0	0	4,02461433	0,911577	0,592096	329,0804	2,990414	0	0	0	0
9320,09961	1,64600182	0	0	4,01836729	0,908634	0,590843	327,3233	2,985581	0	0	0	0
9330,09961	1,64090216	0	0	4,01213789	0,905703	0,589593	325,5777	2,980763	0	0	0	0
9340,09961	1,6358242	0	0	4,00592518	0,902786	0,588348	323,8435	2,975958	0	0	0	0
9350,09961	1,6307677	0	0	3,99972892	0,899881	0,587107	322,1206	2,971167	0	0	0	0
9360,09961	1,62573266	0	0	3,99354959	0,896989	0,58587	320,4089	2,966389	0	0	0	0
9370,09961	1,62071896	0	0	3,9873867	0,89411	0,584637	318,7083	2,961625	0	0	0	0
9380,09961	1,61572647	0	0	3,98124051	0,891244	0,583408	317,0188	2,956874	0	0	0	0
9390,09961	1,61075497	0	0	3,97511077	0,88839	0,582183	315,3403	2,952136	0	0	0	0
9400,09961	1,60580456	0	0	3,96899772	0,885549	0,580962	313,6726	2,947412	0	0	0	0
9410,09961	1,6008749	0	0	3,96290088	0,882721	0,579745	312,0158	2,942701	0	0	0	0
9420,09961	1,59596598	0	0	3,95682025	0,879905	0,578532	310,3696	2,938003	0	0	0	0
9430,09961	1,59107769	0	0	3,95075583	0,877101	0,577323	308,7341	2,933319	0	0	0	0
9440,09961	1,58620989	0	0	3,94470763	0,874309	0,576118	307,1091	2,928647	0	0	0	0
9450,09961	1,58136249	0	0	3,93867564	0,87153	0,574917	305,4946	2,923989	0	0	0	0
9460,09961	1,57653546	0	0	3,93265963	0,868763	0,57372	303,8905	2,919343	0	0	0	0
9470,09961	1,57172847	0	0	3,92665982	0,866008	0,572526	302,2966	2,91471	0	0	0	0
9480,09961	1,56694162	0	0	3,92067575	0,863265	0,571337	300,713	2,91009	0	0	0	0
9490,09961	1,5621748	0	0	3,91470742	0,860534	0,570151	299,1396	2,905483	0	0	0	0
9500,09961	1,55742776	0	0	3,90875506	0,857814	0,568969	297,5762	2,900889	0	0	0	0
9510,09961	1,5527004	0	0	3,90281844	0,855107	0,567791	296,0228	2,896308	0	0	0	0
9520,09961	1,54799283	0	0	3,89689732	0,852411	0,566617	294,4793	2,891739	0	0	0	0
9530,09961	1,54330468	0	0	3,89099193	0,849727	0,565446	292,9457	2,887183	0	0	0	0

9540,09961	1,53863597	0	0	3,88510227	0,847055	0,56428	291,4218	2,882639	0	0	0	0
9550,09961	1,53398657	0	0	3,87922788	0,844394	0,563117	289,9077	2,878108	0	0	0	0
9560,09961	1,52935648	0	0	3,87336898	0,841745	0,561957	288,4031	2,873589	0	0	0	0
9570,09961	1,52474546	0	0	3,86752534	0,839107	0,560802	286,9081	2,869083	0	0	0	0
9580,09961	1,52015352	0	0	3,8616972	0,83648	0,55965	285,4225	2,864589	0	0	0	0
9590,09961	1,51558042	0	0	3,85588431	0,833865	0,558502	283,9464	2,860107	0	0	0	0
9600,09961	1,51102614	0	0	3,85008645	0,831261	0,557357	282,4796	2,855638	0	0	0	0
9610,09961	1,50649059	0	0	3,84430385	0,828668	0,556216	281,022	2,85118	0	0	0	0
9620,09961	1,50197363	0	0	3,8385365	0,826086	0,555079	279,5736	2,846735	0	0	0	0
9630,09961	1,49747527	0	0	3,83278394	0,823515	0,553945	278,1344	2,842302	0	0	0	0
9640,09961	1,49299526	0	0	3,82704639	0,820955	0,552815	276,7042	2,837881	0	0	0	0
9650,09961	1,48853362	0	0	3,82132363	0,818406	0,551689	275,283	2,833472	0	0	0	0
9660,09961	1,48409021	0	0	3,81561589	0,815868	0,550566	273,8707	2,829075	0	0	0	0
9670,09961	1,47966492	0	0	3,80992293	0,813341	0,549447	272,4672	2,82469	0	0	0	0
9680,09961	1,47525764	0	0	3,80424476	0,810824	0,548331	271,0726	2,820317	0	0	0	0
9690,09961	1,47086835	0	0	3,79858112	0,808319	0,547218	269,6866	2,815955	0	0	0	0
9700,09961	1,46649683	0	0	3,79293227	0,805823	0,546109	268,3093	2,811606	0	0	0	0
9710,09961	1,46214318	0	0	3,78729773	0,803339	0,545004	266,9406	2,807268	0	0	0	0
9720,09961	1,45780706	0	0	3,78167796	0,800865	0,543902	265,5804	2,802942	0	0	0	0
9730,09961	1,45348859	0	0	3,7760725	0,798401	0,542804	264,2287	2,798627	0	0	0	0
9740,09961	1,44918764	0	0	3,77048159	0,795948	0,541709	262,8854	2,794324	0	0	0	0
9750,09961	1,44490397	0	0	3,76490474	0,793505	0,540617	261,5504	2,790032	0	0	0	0
9760,09961	1,44063771	0	0	3,75934243	0,791072	0,539529	260,2237	2,785752	0	0	0	0
9770,09961	1,43638861	0	0	3,75379443	0,788649	0,538444	258,9052	2,781484	0	0	0	0
9780,09961	1,43215656	0	0	3,7482605	0,786237	0,537363	257,5948	2,777226	0	0	0	0
9790,09961	1,42794156	0	0	3,74274063	0,783835	0,536285	256,2926	2,77298	0	0	0	0
9800,09961	1,42374361	0	0	3,73723483	0,781443	0,53521	254,9984	2,768746	0	0	0	0
9810,09961	1,41956246	0	0	3,7317431	0,779061	0,534138	253,7121	2,764523	0	0	0	0
9820,09961	1,415398	0	0	3,72626543	0,776689	0,53307	252,4338	2,76031	0	0	0	0
9830,09961	1,41125023	0	0	3,72080159	0,774326	0,532005	251,1633	2,756109	0	0	0	0
9840,09961	1,40711915	0	0	3,71535182	0,771974	0,530944	249,9007	2,75192	0	0	0	0
9850,09961	1,40300453	0	0	3,70991564	0,769631	0,529886	248,6458	2,747741	0	0	0	0
9860,09961	1,39890635	0	0	3,70449328	0,767298	0,528831	247,3985	2,743573	0	0	0	0
9870,09961	1,39482439	0	0	3,69908476	0,764975	0,527779	246,1589	2,739417	0	0	0	0
9880,09961	1,39075887	0	0	3,69368982	0,762661	0,526731	244,9268	2,735271	0	0	0	0
9890,09961	1,38670933	0	0	3,68830848	0,760357	0,525685	243,7023	2,731136	0	0	0	0
9900,09961	1,38267601	0	0	3,68294072	0,758063	0,524643	242,4853	2,727012	0	0	0	0

9910,09961	1,37865865	0	0	3,67758632	0,755778	0,523604	241,2756	2,722899	0	0	0	0
9920,09961	1,37465727	0	0	3,6722455	0,753502	0,522569	240,0733	2,718797	0	0	0	0
9930,09961	1,37067175	0	0	3,66691828	0,751236	0,521536	238,8784	2,714705	0	0	0	0
9940,09961	1,36670184	0	0	3,66160417	0,748979	0,520507	237,6906	2,710624	0	0	0	0
9950,09961	1,36274779	0	0	3,65630341	0,746731	0,51948	236,5101	2,706554	0	0	0	0
9960,09961	1,35880923	0	0	3,651016	0,744493	0,518457	235,3367	2,702495	0	0	0	0
9970,09961	1,35488617	0	0	3,64574194	0,742264	0,517437	234,1704	2,698446	0	0	0	0
9980,09961	1,35097861	0	0	3,64048076	0,740044	0,51642	233,0112	2,694407	0	0	0	0
9990,09961	1,34708643	0	0	3,63523293	0,737833	0,515406	231,8589	2,690379	0	0	0	0
10000,0996	1,34320962	0	0	3,62999797	0,735631	0,514395	230,7136	2,686362	0	0	0	0
10010,0996	1,33934784	0	0	3,62477636	0,733438	0,513388	229,5752	2,682354	0	0	0	0
10020,0996	1,33550131	0	0	3,61956739	0,731254	0,512383	228,4436	2,678358	0	0	0	0
10030,0996	1,33166981	0	0	3,61437154	0,729079	0,511381	227,3188	2,674371	0	0	0	0
10040,0996	1,32785332	0	0	3,60918856	0,726912	0,510383	226,2008	2,670395	0	0	0	0
10050,0996	1,32405174	0	0	3,60401821	0,724755	0,509387	225,0895	2,666429	0	0	0	0
10060,0996	1,32026494	0	0	3,59886098	0,722606	0,508394	223,9848	2,662474	0	0	0	0
10070,0996	1,31649303	0	0	3,59371614	0,720466	0,507405	222,8867	2,658528	0	0	0	0
10080,0996	1,31273568	0	0	3,58858418	0,718335	0,506418	221,7952	2,654593	0	0	0	0
10090,0996	1,30899298	0	0	3,58346486	0,716212	0,505434	220,7101	2,650668	0	0	0	0
10100,0996	1,30526483	0	0	3,57835817	0,714098	0,504453	219,6316	2,646753	0	0	0	0
10110,0996	1,3015511	0	0	3,57326412	0,711992	0,503475	218,5595	2,642848	0	0	0	0
10120,0996	1,2978518	0	0	3,56818247	0,709895	0,5025	217,4937	2,638952	0	0	0	0
10130,0996	1,2941668	0	0	3,56311321	0,707806	0,501528	216,4343	2,635067	0	0	0	0
10140,0996	1,29049611	0	0	3,55805659	0,705726	0,500559	215,3811	2,631192	0	0	0	0
10150,0996	1,28683949	0	0	3,55301213	0,703654	0,499593	214,3342	2,627327	0	0	0	0
10160,0996	1,28319705	0	0	3,54798031	0,70159	0,498629	213,2935	2,623471	0	0	0	0
10170,0996	1,27956867	0	0	3,54296041	0,699535	0,497669	212,2589	2,619626	0	0	0	0
10180,0996	1,27595425	0	0	3,5379529	0,697488	0,496711	211,2304	2,61579	0	0	0	0
10190,0996	1,27235377	0	0	3,53295779	0,695449	0,495756	210,2081	2,611964	0	0	0	0
10200,0996	1,26876712	0	0	3,52797461	0,693418	0,494804	209,1917	2,608147	0	0	0	0
10210,0996	1,26519418	0	0	3,52300358	0,691395	0,493855	208,1813	2,60434	0	0	0	0
10220,0996	1,26163495	0	0	3,51804471	0,689381	0,492908	207,1768	2,600543	0	0	0	0
10230,0996	1,2580893	0	0	3,51309776	0,687374	0,491964	206,1783	2,596755	0	0	0	0
10240,0996	1,25455737	0	0	3,50816298	0,685375	0,491023	205,1856	2,592977	0	0	0	0
10250,0996	1,25103879	0	0	3,50324011	0,683384	0,490085	204,1987	2,589209	0	0	0	0
10260,0996	1,24753368	0	0	3,49832892	0,681402	0,48915	203,2176	2,585449	0	0	0	0
10270,0996	1,24404192	0	0	3,49342966	0,679427	0,488217	202,2422	2,5817	0	0	0	0

10280,0996	1,24056351	0	0	3,48854232	0,677459	0,487287	201,2725	2,57796	0	0	0	0
10290,0996	1,23709834	0	0	3,4836669	0,6755	0,48636	200,3085	2,574229	0	0	0	0
10300,0996	1,23364627	0	0	3,47880292	0,673548	0,485435	199,3501	2,570507	0	0	0	0
10310,0996	1,23020732	0	0	3,47395086	0,671604	0,484514	198,3972	2,566795	0	0	0	0
10320,0996	1,22678149	0	0	3,46911025	0,669668	0,483594	197,4499	2,563092	0	0	0	0
10330,0996	1,22336864	0	0	3,46428156	0,667739	0,482678	196,5081	2,559398	0	0	0	0
10340,0996	1,21996856	0	0	3,45946407	0,665818	0,481764	195,5718	2,555714	0	0	0	0
10350,0996	1,21658146	0	0	3,45465827	0,663904	0,480853	194,6409	2,552039	0	0	0	0
10360,0996	1,21320713	0	0	3,44986415	0,661998	0,479945	193,7154	2,548373	0	0	0	0
10370,0996	1,20984554	0	0	3,44508123	0,6601	0,479039	192,7952	2,544715	0	0	0	0
10380,0996	1,2064966	0	0	3,44030976	0,658208	0,478135	191,8803	2,541067	0	0	0	0
10390,0996	1,20316029	0	0	3,43554974	0,656325	0,477235	190,9707	2,537429	0	0	0	0
10400,0996	1,19983649	0	0	3,43080115	0,654448	0,476337	190,0664	2,533798	0	0	0	0
10410,0996	1,19652522	0	0	3,42606354	0,652579	0,475441	189,1673	2,530178	0	0	0	0
10420,0996	1,19322634	0	0	3,42133737	0,650717	0,474548	188,2733	2,526566	0	0	0	0
10430,0996	1,18993974	0	0	3,4166224	0,648862	0,473658	187,3845	2,522962	0	0	0	0
10440,0996	1,18666553	0	0	3,41191864	0,647015	0,47277	186,5007	2,519368	0	0	0	0
10450,0996	1,18340361	0	0	3,40722609	0,645175	0,471885	185,6221	2,515783	0	0	0	0
10460,0996	1,18015385	0	0	3,4025445	0,643341	0,471002	184,7484	2,512206	0	0	0	0
10470,0996	1,17691624	0	0	3,39787412	0,641515	0,470122	183,8798	2,508638	0	0	0	0
10480,0996	1,17369068	0	0	3,3932147	0,639696	0,469245	183,0161	2,505079	0	0	0	0
10490,0996	1,17047715	0	0	3,38856626	0,637884	0,468369	182,1574	2,501529	0	0	0	0
10500,0996	1,16727555	0	0	3,38392854	0,63608	0,467497	181,3035	2,497987	0	0	0	0
10510,0996	1,16408587	0	0	3,37930202	0,634282	0,466627	180,4545	2,494454	0	0	0	0
10520,0996	1,16090798	0	0	3,37468624	0,63249	0,465759	179,6104	2,49093	0	0	0	0
10530,0996	1,1577419	0	0	3,37008142	0,630706	0,464894	178,771	2,487414	0	0	0	0
10540,0996	1,15458763	0	0	3,36548734	0,628929	0,464031	177,9364	2,483907	0	0	0	0
10550,0996	1,15144491	0	0	3,36090398	0,627158	0,463171	177,1066	2,480408	0	0	0	0
10560,0996	1,14831388	0	0	3,35633135	0,625395	0,462313	176,2814	2,476918	0	0	0	0
10570,0996	1,14519441	0	0	3,35176921	0,623638	0,461458	175,4609	2,473436	0	0	0	0
10580,0996	1,14208651	0	0	3,34721804	0,621888	0,460605	174,645	2,469963	0	0	0	0
10590,0996	1,13899004	0	0	3,34267735	0,620144	0,459754	173,8338	2,466498	0	0	0	0
10600,0996	1,13590491	0	0	3,33814716	0,618407	0,458906	173,0271	2,463042	0	0	0	0
10610,0996	1,13283122	0	0	3,3336277	0,616677	0,45806	172,225	2,459594	0	0	0	0
10620,0996	1,12976873	0	0	3,32911873	0,614953	0,457217	171,4274	2,456154	0	0	0	0
10630,0996	1,12671757	0	0	3,32462001	0,613236	0,456375	170,6342	2,452722	0	0	0	0
10640,0996	1,12367749	0	0	3,32013202	0,611525	0,455537	169,8456	2,449299	0	0	0	0

10650,0996	1,12064862	0	0	3,31565428	0,609821	0,4547	169,0613	2,445884	0	0	0	0
10660,0996	1,11763084	0	0	3,31118679	0,608124	0,453866	168,2815	2,442477	0	0	0	0
10670,0996	1,11462402	0	0	3,30672979	0,606433	0,453035	167,506	2,439078	0	0	0	0
10680,0996	1,11162829	0	0	3,30228305	0,604748	0,452206	166,7348	2,435688	0	0	0	0
10690,0996	1,10864341	0	0	3,29784656	0,603069	0,451379	165,968	2,432306	0	0	0	0
10700,0996	1,1056695	0	0	3,29342031	0,601397	0,450554	165,2054	2,428931	0	0	0	0
10710,0996	1,10270631	0	0	3,28900433	0,599731	0,449731	164,4471	2,425565	0	0	0	0
10720,0996	1,09975398	0	0	3,28459835	0,598072	0,448911	163,693	2,422207	0	0	0	0
10730,0996	1,09681237	0	0	3,28020263	0,596419	0,448094	162,9431	2,418857	0	0	0	0
10740,0996	1,09388137	0	0	3,27581692	0,594772	0,447278	162,1974	2,415514	0	0	0	0
10750,0996	1,0909611	0	0	3,27144122	0,593131	0,446465	161,4559	2,41218	0	0	0	0
10760,0996	1,08805132	0	0	3,26707578	0,591496	0,445654	160,7184	2,408854	0	0	0	0
10770,0996	1,08515215	0	0	3,26272011	0,589868	0,444845	159,985	2,405535	0	0	0	0
10780,0996	1,08226335	0	0	3,25837445	0,588245	0,444038	159,2557	2,402225	0	0	0	0
10790,0996	1,07938504	0	0	3,25403857	0,586629	0,443234	158,5304	2,398922	0	0	0	0
10800,0996	1,07651711	0	0	3,24971271	0,585018	0,442432	157,8091	2,395627	0	0	0	0
10810,0996	1,07365954	0	0	3,24539685	0,583414	0,441632	157,0919	2,39234	0	0	0	0
10820,0996	1,07081234	0	0	3,24109077	0,581816	0,440834	156,3785	2,389061	0	0	0	0
10830,0996	1,06797528	0	0	3,23679423	0,580223	0,440039	155,6691	2,385789	0	0	0	0
10840,0996	1,06514847	0	0	3,23250771	0,578637	0,439246	154,9636	2,382525	0	0	0	0
10850,0996	1,06233168	0	0	3,22823071	0,577056	0,438455	154,262	2,379269	0	0	0	0
10860,0996	1,05952513	0	0	3,22396374	0,575481	0,437666	153,5642	2,37602	0	0	0	0
10870,0996	1,0567286	0	0	3,21970606	0,573913	0,436879	152,8703	2,37278	0	0	0	0
10880,0996	1,05394208	0	0	3,21545815	0,57235	0,436094	152,1801	2,369546	0	0	0	0
10890,0996	1,05116546	0	0	3,21122003	0,570792	0,435312	151,4937	2,36632	0	0	0	0
10900,0996	1,04839885	0	0	3,2069912	0,569241	0,434531	150,8111	2,363102	0	0	0	0
10910,0996	1,04564202	0	0	3,20277214	0,567695	0,433753	150,1322	2,359892	0	0	0	0
10920,0996	1,04289508	0	0	3,19856238	0,566155	0,432977	149,4571	2,356688	0	0	0	0
10930,0996	1,04015791	0	0	3,19436216	0,564621	0,432203	148,7856	2,353493	0	0	0	0
10940,0996	1,03743052	0	0	3,19017148	0,563092	0,431431	148,1177	2,350304	0	0	0	0
10950,0996	1,03471279	0	0	3,1859901	0,561569	0,430662	147,4535	2,347123	0	0	0	0
10960,0996	1,03200471	0	0	3,18181825	0,560051	0,429894	146,7929	2,34395	0	0	0	0
10970,0996	1,02930629	0	0	3,17765546	0,558539	0,429128	146,1359	2,340784	0	0	0	0
10980,0996	1,02661741	0	0	3,17350221	0,557033	0,428365	145,4825	2,337625	0	0	0	0
10990,0996	1,02393806	0	0	3,16935825	0,555532	0,427603	144,8326	2,334474	0	0	0	0
11000,0996	1,02126813	0	0	3,1652236	0,554036	0,426844	144,1862	2,33133	0	0	0	0
11010,0996	1,01860762	0	0	3,161098	0,552547	0,426087	143,5433	2,328193	0	0	0	0

11020,0996	1,01595652	0	0	3,15698171	0,551062	0,425331	142,9039	2,325063	0	0	0	0
11030,0996	1,01331484	0	0	3,15287471	0,549583	0,424578	142,268	2,321941	0	0	0	0
11040,0996	1,01068246	0	0	3,14877677	0,548109	0,423827	141,6354	2,318826	0	0	0	0
11050,0996	1,00805926	0	0	3,14468789	0,546641	0,423078	141,0063	2,315718	0	0	0	0
11060,0996	1,00544536	0	0	3,14060807	0,545178	0,422331	140,3806	2,312617	0	0	0	0
11070,0996	1,00284064	0	0	3,13653731	0,54372	0,421585	139,7582	2,309523	0	0	0	0
11080,0996	1,00024498	0	0	3,13247561	0,542268	0,420842	139,1392	2,306437	0	0	0	0
11090,0996	0,99765849	0	0	3,12842298	0,540821	0,420101	138,5235	2,303357	0	0	0	0
11100,0996	0,99508107	0	0	3,12437916	0,539379	0,419362	137,9111	2,300285	0	0	0	0
11110,0996	0,99251264	0	0	3,1203444	0,537942	0,418625	137,302	2,297219	0	0	0	0
11120,0996	0,98995316	0	0	3,11631846	0,536511	0,417889	136,6961	2,294161	0	0	0	0
11130,0996	0,98740268	0	0	3,11230135	0,535085	0,417156	136,0935	2,291109	0	0	0	0
11140,0996	0,98486108	0	0	3,10829329	0,533664	0,416425	135,4941	2,288065	0	0	0	0
11150,0996	0,98232836	0	0	3,10429406	0,532248	0,415695	134,8979	2,285027	0	0	0	0
11160,0996	0,97980446	0	0	3,10030341	0,530837	0,414968	134,3048	2,281997	0	0	0	0
11170,0996	0,97728932	0	0	3,09632158	0,529431	0,414242	133,715	2,278973	0	0	0	0
11180,0996	0,97478288	0	0	3,09234858	0,52803	0,413519	133,1283	2,275956	0	0	0	0
11190,0996	0,97228521	0	0	3,08838439	0,526634	0,412797	132,5446	2,272946	0	0	0	0
11200,0996	0,96979618	0	0	3,08442879	0,525244	0,412077	131,9641	2,269943	0	0	0	0
11210,0996	0,96731579	0	0	3,08048177	0,523858	0,41136	131,3867	2,266947	0	0	0	0
11220,0996	0,96484399	0	0	3,07654333	0,522477	0,410644	130,8123	2,263957	0	0	0	0
11230,0996	0,96238071	0	0	3,07261372	0,521101	0,40993	130,241	2,260974	0	0	0	0
11240,0996	0,95992595	0	0	3,06869245	0,51973	0,409217	129,6727	2,257998	0	0	0	0
11250,0996	0,95747972	0	0	3,06478	0,518364	0,408507	129,1073	2,255028	0	0	0	0
11260,0996	0,95504189	0	0	3,06087589	0,517003	0,407799	128,545	2,252066	0	0	0	0
11270,0996	0,95261246	0	0	3,05698013	0,515647	0,407092	127,9857	2,24911	0	0	0	0
11280,0996	0,95019138	0	0	3,05309319	0,514295	0,406388	127,4292	2,246161	0	0	0	0
11290,0996	0,94777864	0	0	3,04921436	0,512949	0,405685	126,8758	2,243218	0	0	0	0
11300,0996	0,94537419	0	0	3,04534411	0,511607	0,404984	126,3252	2,240282	0	0	0	0
11310,0996	0,94297802	0	0	3,04148221	0,51027	0,404285	125,7775	2,237352	0	0	0	0
11320,0996	0,94059008	0	0	3,03762865	0,508937	0,403587	125,2327	2,234429	0	0	0	0
11330,0996	0,93821031	0	0	3,03378367	0,507609	0,402892	124,6907	2,231513	0	0	0	0
11340,0996	0,93583864	0	0	3,0299468	0,506286	0,402198	124,1516	2,228603	0	0	0	0
11350,0996	0,93347514	0	0	3,02611804	0,504968	0,401506	123,6153	2,225699	0	0	0	0
11360,0996	0,93111968	0	0	3,02229786	0,503654	0,400816	123,0819	2,222802	0	0	0	0
11370,0996	0,92877227	0	0	3,01848578	0,502345	0,400128	122,5512	2,219912	0	0	0	0
11380,0996	0,92643285	0	0	3,01468182	0,501041	0,399441	122,0232	2,217028	0	0	0	0

11390,0996	0,92410141	0	0	3,01088619	0,499741	0,398757	121,4981	2,21415	0	0	0	0
11400,0996	0,92177796	0	0	3,00709844	0,498446	0,398074	120,9756	2,211279	0	0	0	0
11410,0996	0,91946238	0	0	3,00331903	0,497155	0,397393	120,4559	2,208414	0	0	0	0
11420,0996	0,91715467	0	0	2,99954772	0,495869	0,396713	119,9389	2,205555	0	0	0	0
11430,0996	0,91485476	0	0	2,99578452	0,494587	0,396036	119,4245	2,202703	0	0	0	0
11440,0996	0,91256267	0	0	2,99202943	0,49331	0,39536	118,9129	2,199857	0	0	0	0
11450,0996	0,91027838	0	0	2,9882822	0,492037	0,394686	118,4039	2,197018	0	0	0	0
11460,0996	0,90800178	0	0	2,98454309	0,490769	0,394013	117,8975	2,194185	0	0	0	0
11470,0996	0,90573293	0	0	2,98081183	0,489505	0,393343	117,3937	2,191357	0	0	0	0
11480,0996	0,90347171	0	0	2,97708869	0,488246	0,392674	116,8926	2,188537	0	0	0	0
11490,0996	0,90121812	0	0	2,97337341	0,486991	0,392007	116,394	2,185722	0	0	0	0
11500,0996	0,89897215	0	0	2,969666	0,48574	0,391341	115,898	2,182914	0	0	0	0
11510,0996	0,8967337	0	0	2,9659667	0,484494	0,390678	115,4046	2,180111	0	0	0	0
11520,0996	0,89450288	0	0	2,96227503	0,483252	0,390016	114,9137	2,177315	0	0	0	0
11530,0996	0,89227951	0	0	2,95859122	0,482014	0,389355	114,4253	2,174525	0	0	0	0
11540,0996	0,89006358	0	0	2,95491529	0,480781	0,388697	113,9395	2,171741	0	0	0	0
11550,0996	0,88785511	0	0	2,95124698	0,479552	0,38804	113,4561	2,168964	0	0	0	0
11560,0996	0,88565409	0	0	2,94758654	0,478327	0,387384	112,9752	2,166192	0	0	0	0
11570,0996	0,8834604	0	0	2,94393396	0,477106	0,386731	112,4968	2,163426	0	0	0	0
11580,0996	0,8812741	0	0	2,94028878	0,47589	0,386079	112,0209	2,160667	0	0	0	0
11590,0996	0,87909508	0	0	2,93665171	0,474678	0,385429	111,5473	2,157913	0	0	0	0
11600,0996	0,87692332	0	0	2,93302202	0,47347	0,38478	111,0762	2,155166	0	0	0	0
11610,0996	0,87475884	0	0	2,92939997	0,472266	0,384133	110,6075	2,152424	0	0	0	0
11620,0996	0,87260163	0	0	2,92578578	0,471066	0,383488	110,1412	2,149688	0	0	0	0
11630,0996	0,87045157	0	0	2,92217898	0,469871	0,382844	109,6773	2,146959	0	0	0	0
11640,0996	0,86830866	0	0	2,91857982	0,468679	0,382202	109,2157	2,144235	0	0	0	0
11650,0996	0,86617285	0	0	2,91498804	0,467492	0,381562	108,7565	2,141517	0	0	0	0
11660,0996	0,86404419	0	0	2,91140413	0,466309	0,380923	108,2996	2,138805	0	0	0	0
11670,0996	0,86192256	0	0	2,90782738	0,465129	0,380286	107,8451	2,136099	0	0	0	0
11680,0996	0,85980803	0	0	2,90425825	0,463954	0,379651	107,3928	2,133399	0	0	0	0
11690,0996	0,85770047	0	0	2,90069675	0,462783	0,379017	106,9429	2,130704	0	0	0	0
11700,0996	0,85559988	0	0	2,89714241	0,461616	0,378384	106,4952	2,128016	0	0	0	0
11710,0996	0,85350627	0	0	2,8935957	0,460453	0,377754	106,0498	2,125333	0	0	0	0
11720,0996	0,85141957	0	0	2,89005637	0,459293	0,377124	105,6066	2,122656	0	0	0	0
11730,0996	0,84933972	0	0	2,88652444	0,458138	0,376497	105,1657	2,119985	0	0	0	0
11740,0996	0,84726679	0	0	2,88299966	0,456987	0,375871	104,727	2,117319	0	0	0	0
11750,0996	0,84520066	0	0	2,87948227	0,455839	0,375247	104,2905	2,114659	0	0	0	0

11760,0996	0,84314138	0	0	2,87597227	0,454696	0,374624	103,8562	2,112005	0	0	0	0
11770,0996	0,84108883	0	0	2,87246966	0,453556	0,374003	103,4241	2,109357	0	0	0	0
11780,0996	0,83904308	0	0	2,86897421	0,45242	0,373383	102,9942	2,106714	0	0	0	0
11790,0996	0,83700401	0	0	2,86548591	0,451288	0,372765	102,5664	2,104077	0	0	0	0
11800,0996	0,83497167	0	0	2,86200476	0,45016	0,372148	102,1408	2,101445	0	0	0	0
11810,0996	0,83294594	0	0	2,858531	0,449036	0,371533	101,7173	2,098819	0	0	0	0
11820,0996	0,8309269	0	0	2,85506439	0,447916	0,37092	101,2959	2,096199	0	0	0	0
11830,0996	0,8289144	0	0	2,85160494	0,446799	0,370308	100,8767	2,093585	0	0	0	0
11840,0996	0,82690859	0	0	2,84815264	0,445686	0,369697	100,4595	2,090976	0	0	0	0
11850,0996	0,82490927	0	0	2,84470725	0,444577	0,369088	100,0445	2,088372	0	0	0	0
11860,0996	0,82291645	0	0	2,84126925	0,443471	0,368481	99,63147	2,085774	0	0	0	0
11870,0996	0,82093018	0	0	2,83783817	0,44237	0,367875	99,22054	2,083181	0	0	0	0
11880,0996	0,81895036	0	0	2,83441401	0,441271	0,36727	98,81165	2,080595	0	0	0	0
11890,0996	0,81697702	0	0	2,83099699	0,440177	0,366668	98,40479	2,078013	0	0	0	0
11900,0996	0,81501007	0	0	2,82758713	0,439086	0,366066	97,99997	2,075437	0	0	0	0
11910,0996	0,8130495	0	0	2,82418418	0,437999	0,365466	97,59715	2,072866	0	0	0	0
11920,0996	0,81109536	0	0	2,82078815	0,436916	0,364868	97,19633	2,070301	0	0	0	0
11930,0996	0,80914748	0	0	2,81739902	0,435836	0,364271	96,79752	2,067741	0	0	0	0
11940,0996	0,80720598	0	0	2,81401682	0,43476	0,363676	96,40067	2,065187	0	0	0	0
11950,0996	0,80527073	0	0	2,81064153	0,433688	0,363082	96,00578	2,062638	0	0	0	0
11960,0996	0,80334175	0	0	2,80727315	0,432619	0,362489	95,61285	2,060094	0	0	0	0
11970,0996	0,80141902	0	0	2,80391169	0,431553	0,361898	95,22187	2,057556	0	0	0	0
11980,0996	0,79950249	0	0	2,8005569	0,430491	0,361308	94,83282	2,055023	0	0	0	0
11990,0996	0,79759216	0	0	2,79720926	0,429433	0,36072	94,44569	2,052495	0	0	0	0
12000,0996	0,79568797	0	0	2,79386806	0,428378	0,360134	94,06047	2,049973	0	0	0	0
12010,0996	0,79378992	0	0	2,79053378	0,427327	0,359548	93,67715	2,047456	0	0	0	0
12020,0996	0,79189801	0	0	2,78720641	0,426279	0,358964	93,29571	2,044945	0	0	0	0
12030,0996	0,79001218	0	0	2,78388572	0,425235	0,358382	92,91615	2,042438	0	0	0	0
12040,0996	0,78813237	0	0	2,7805717	0,424194	0,357801	92,53845	2,039937	0	0	0	0
12050,0996	0,78625864	0	0	2,77726436	0,423156	0,357222	92,16261	2,037441	0	0	0	0
12060,0996	0,78439093	0	0	2,77396369	0,422122	0,356643	91,78861	2,03495	0	0	0	0
12070,0996	0,78252918	0	0	2,7706697	0,421092	0,356067	91,41645	2,032464	0	0	0	0
12080,0996	0,78067338	0	0	2,76738238	0,420065	0,355491	91,04611	2,029984	0	0	0	0
12090,0996	0,77882355	0	0	2,76410174	0,419041	0,354918	90,67758	2,027508	0	0	0	0
12100,0996	0,77697963	0	0	2,76082778	0,41802	0,354345	90,31086	2,025038	0	0	0	0
12110,0996	0,77514154	0	0	2,75756025	0,417003	0,353774	89,94592	2,022573	0	0	0	0
12120,0996	0,77330941	0	0	2,7542994	0,41599	0,353204	89,58277	2,020113	0	0	0	0

12130,0996	0,77148306	0	0	2,75104499	0,414979	0,352636	89,22138	2,017658	0	0	0	0
12140,0996	0,76966256	0	0	2,74779725	0,413972	0,352069	88,86176	2,015208	0	0	0	0
12150,0996	0,76784784	0	0	2,74455595	0,412968	0,351503	88,50389	2,012764	0	0	0	0
12160,0996	0,76603889	0	0	2,74132109	0,411968	0,350939	88,14776	2,010324	0	0	0	0
12170,0996	0,76423568	0	0	2,7380929	0,410971	0,350376	87,79336	2,00789	0	0	0	0
12180,0996	0,76243824	0	0	2,73487091	0,409977	0,349815	87,44068	2,00546	0	0	0	0
12190,0996	0,76064646	0	0	2,7316556	0,408986	0,349255	87,08971	2,003036	0	0	0	0
12200,0996	0,75886035	0	0	2,72844648	0,407998	0,348696	86,74044	2,000616	0	0	0	0
12210,0996	0,75707996	0	0	2,72524381	0,407014	0,348139	86,39287	1,998201	0	0	0	0
12220,0996	0,75530517	0	0	2,72204757	0,406033	0,347583	86,04697	1,995792	0	0	0	0
12230,0996	0,75353599	0	0	2,71885777	0,405055	0,347028	85,70275	1,993387	0	0	0	0
12240,0996	0,75177234	0	0	2,7156744	0,404081	0,346474	85,36019	1,990987	0	0	0	0
12250,0996	0,75001436	0	0	2,71249723	0,403109	0,345922	85,01929	1,988592	0	0	0	0
12260,0996	0,74826187	0	0	2,70932627	0,402141	0,345372	84,68002	1,986202	0	0	0	0
12270,0996	0,74651492	0	0	2,70616174	0,401175	0,344822	84,34239	1,983817	0	0	0	0
12280,0996	0,74477345	0	0	2,70300341	0,400213	0,344274	84,00639	1,981437	0	0	0	0
12290,0996	0,74303746	0	0	2,69985127	0,399254	0,343727	83,672	1,979062	0	0	0	0
12300,0996	0,74130696	0	0	2,69670558	0,398299	0,343182	83,33923	1,976691	0	0	0	0
12310,0996	0,73958182	0	0	2,69356608	0,397346	0,342638	83,00805	1,974326	0	0	0	0
12320,0996	0,73786217	0	0	2,69043255	0,396396	0,342095	82,67845	1,971965	0	0	0	0
12330,0996	0,73614788	0	0	2,68730545	0,395449	0,341554	82,35044	1,969609	0	0	0	0
12340,0996	0,73443896	0	0	2,68418455	0,394506	0,341013	82,024	1,967258	0	0	0	0
12350,0996	0,7327354	0	0	2,68106961	0,393565	0,340474	81,69912	1,964911	0	0	0	0
12360,0996	0,73103714	0	0	2,67796087	0,392628	0,339937	81,37579	1,962569	0	0	0	0
12370,0996	0,72934425	0	0	2,67485833	0,391693	0,3394	81,05402	1,960232	0	0	0	0
12380,0996	0,7276566	0	0	2,67176175	0,390762	0,338865	80,73376	1,9579	0	0	0	0
12390,0996	0,7259742	0	0	2,66867137	0,389833	0,338331	80,41505	1,955573	0	0	0	0
12400,0996	0,72429705	0	0	2,66558695	0,388908	0,337799	80,09785	1,95325	0	0	0	0
12410,0996	0,72262514	0	0	2,66250873	0,387985	0,337267	79,78216	1,950932	0	0	0	0
12420,0996	0,72095841	0	0	2,65943646	0,387066	0,336737	79,46797	1,948619	0	0	0	0
12430,0996	0,71929687	0	0	2,65637016	0,386149	0,336209	79,15528	1,94631	0	0	0	0
12440,0996	0,71764052	0	0	2,65330982	0,385235	0,335681	78,84407	1,944006	0	0	0	0
12450,0996	0,71598929	0	0	2,65025568	0,384324	0,335155	78,53434	1,941706	0	0	0	0
12460,0996	0,71434319	0	0	2,64720726	0,383417	0,33463	78,22607	1,939411	0	0	0	0
12470,0996	0,71270216	0	0	2,64416504	0,382512	0,334106	77,91927	1,937121	0	0	0	0
12480,0996	0,71106625	0	0	2,64112854	0,381609	0,333583	77,61392	1,934836	0	0	0	0
12490,0996	0,7094354	0	0	2,638098	0,38071	0,333062	77,31001	1,932555	0	0	0	0

Tableau A.2 Résultats de calcul selon x

<i>Distance (m)</i>	<i>Hauteur (m)</i>	<i>Vitesse (m/s)</i>	<i>Débit (m³/s)</i>	<i>Célérité (m/s)</i>	<i>Hauteur (m)</i>	<i>Vitesse (m/s)</i>	<i>Débit (m³/s)</i>	<i>Célérité (m/s)</i>	<i>Hauteur (m)</i>	<i>Vitesse (m/s)</i>	<i>Débit (m³/s)</i>	<i>Célérité (m/s)</i>
<i>T = 100 s</i>					<i>T = 5000 s</i>				<i>T = 12500 s</i>			
0	54,3777466	0,50581545	16769,8613	23,0964432	11,52898	0	0	10,63482	0	0	0	0
147,3729	54,3636322	0,54051328	17915,5859	23,0934467	11,46725	0,10793	754,601	10,6063	0	0	0	0
294,7458	54,3496552	0,5741213	19024,6484	23,090477	11,40547	0,213084	1481,769	10,5777	0	0	0	0
442,1187	54,3344231	0,60719389	20114,9355	23,0872402	11,34361	0,315473	2181,873	10,54897	0	0	0	0
589,4916	54,3195114	0,63915163	21167,8105	23,0840721	11,2816	0,415109	2855,286	10,5201	0	0	0	0
736,8645	54,3021011	0,67108637	22218,3223	23,0803719	11,21939	0,512009	3502,379	10,49106	0	0	0	0
884,2374	54,2852097	0,70187384	23230,4043	23,0767822	11,15693	0,606189	4123,526	10,46181	0	0	0	0
1031,6103	54,2646065	0,73312575	24255,5605	23,072403	11,09416	0,697668	4719,1	10,43234	0	0	0	0
1178,9832	54,2447319	0,76318908	25240,9609	23,0681782	11,03103	0,786466	5289,472	10,40261	0	0	0	0
1326,3561	54,219944	0,79418707	26254,1563	23,0629063	10,96749	0,872607	5835,014	10,37261	0	0	0	0
1473,729	54,1960945	0,82394505	27225,9121	23,0578346	10,90349	0,956112	6356,097	10,3423	0	0	0	0
1621,1019	54,1661301	0,85509712	28239,6582	23,0514584	10,83898	1,037007	6853,087	10,31166	0	0	0	0
1768,4748	54,1373405	0,88494611	29209,8906	23,045332	10,77391	1,115317	7326,354	10,28066	0	0	0	0
1915,8477	54,1011963	0,91664296	30235,9238	23,0376377	10,70824	1,191068	7776,26	10,24928	0	0	0	0
2063,2206	54,0664825	0,94696093	31215,9375	23,0302448	10,64192	1,264287	8203,167	10,21749	0	0	0	0
2210,5935	54,0231361	0,97957855	32265,2676	23,0210114	10,5749	1,335001	8607,437	10,18527	0	0	0	0
2357,9664	53,9815063	1,01072764	33265,5977	23,0121403	10,50714	1,403238	8989,425	10,15259	0	0	0	0
2505,3393	53,9299088	1,04462874	34348,5039	23,0011387	10,43859	1,469027	9349,487	10,11942	0	0	0	0
2652,7122	53,8803329	1,07695663	35378,9297	22,9905643	10,36922	1,532395	9687,976	10,08573	0	0	0	0
2800,0851	53,8194008	1,11249053	36504,918	22,977562	10,29898	1,593372	10005,24	10,05151	0	0	0	0
2947,458	53,7608261	1,14633083	37574,4023	22,9650536	10,22783	1,651986	10301,63	10,01673	0	0	0	0
3094,8309	53,6894264	1,183833	38752,1133	22,9497986	10,15572	1,708265	10577,48	9,981365	0	0	0	0
3242,2038	53,6207428	1,21950436	39868,7305	22,9351158	10,08264	1,762237	10833,15	9,945384	0	0	0	0
3389,5767	53,5377045	1,25929403	41105,7969	22,9173489	10,00852	1,813931	11068,96	9,908763	0	0	0	0
3536,9496	53,4577675	1,29709828	42276,5859	22,9002342	9,933343	1,863374	11285,26	9,871479	0	0	0	0
3684,3225	53,3618546	1,33947551	43579,4648	22,8796806	9,857066	1,910595	11482,39	9,833505	0	0	0	0
3831,6954	53,2694626	1,37969482	44810,2695	22,8598652	9,779655	1,955619	11660,68	9,794816	0	0	0	0
3979,0683	53,1593971	1,42493653	46184,0234	22,836235	9,701076	1,998473	11820,46	9,755386	0	0	0	0
4126,4412	53,0532913	1,46782935	47479,2773	22,8134346	9,621296	2,039183	11962,06	9,71519	0	0	0	0

4273,8141	52,9277267	1,51618433	48927,3242	22,7864208	9,540283	2,077775	12085,81	9,674202	0	0	0	0
4421,187	52,8065948	1,56198072	50289,8125	22,7603321	9,458006	2,114273	12192,05	9,632396	0	0	0	0
4568,5599	52,6641388	1,61366391	51813,6602	22,7296104	9,374434	2,148702	12281,11	9,589745	0	0	0	0
4715,9328	52,5265961	1,66255987	53244,2578	22,6999092	9,289541	2,181085	12353,3	9,546225	0	0	0	0
4863,3057	52,365799	1,7177453	54843,1914	22,6651382	9,203296	2,211444	12408,96	9,501806	0	0	0	0
5010,6786	52,2104111	1,76989627	56340,5547	22,631485	9,115672	2,239802	12448,43	9,456466	0	0	0	0
5158,0515	52,0297623	1,8287102	58011,3438	22,5922985	9,026646	2,26618	12472,02	9,410174	0	0	0	0
5305,4244	51,8550224	1,8842237	59571,6328	22,5543289	8,93619	2,290597	12480,08	9,362906	0	0	0	0
5452,7973	51,6529541	1,94673645	61308,1953	22,5103416	8,844281	2,313075	12472,93	9,314633	0	0	0	0
5600,1702	51,4573021	2,00566435	62924,75	22,4676685	8,750896	2,333632	12450,91	9,265327	0	0	0	0
5747,5431	51,2321968	2,07188177	64717,8633	22,4184704	8,656015	2,352284	12414,35	9,214961	0	0	0	0
5894,916	51,0139999	2,13421226	66380,9063	22,3706799	8,559617	2,369051	12363,6	9,163507	0	0	0	0
6042,2889	50,764183	2,20406675	68217,8984	22,3158379	8,461681	2,383947	12298,99	9,110932	0	0	0	0
6189,6618	50,5217476	2,26971436	69914,2578	22,2624874	8,36219	2,396989	12220,87	9,057212	0	0	0	0
6337,0347	50,2454948	2,34305596	71778,7656	22,2015381	8,261127	2,40819	12129,59	9,002314	0	0	0	0
6484,4076	49,9770622	2,41185355	73491,625	22,1421547	8,158474	2,417566	12025,51	8,946207	0	0	0	0
6631,7805	49,6725998	2,4884398	75363,3516	22,0746059	8,054217	2,425127	11908,96	8,888862	0	0	0	0
6779,1534	49,3763542	2,56012797	77072,0469	22,0086803	7,948343	2,430886	11780,33	8,830246	0	0	0	0
6926,5263	49,0418549	2,63961506	78926,6563	21,9340057	7,840839	2,434854	11639,97	8,770327	0	0	0	0
7073,8992	48,7159119	2,71383381	80606,5391	21,8609943	7,731694	2,437042	11488,25	8,709071	0	0	0	0
7221,2721	48,349514	2,79576683	82415,5625	21,7786293	7,620898	2,437457	11325,55	8,646445	0	0	0	0
7368,645	47,9919319	2,87204409	84037,9688	21,6979465	7,508441	2,43611	11152,26	8,582413	0	0	0	0
7516,0179	47,5917206	2,95584798	85768,8672	21,6072845	7,394316	2,433007	10968,76	8,516938	0	0	0	0
7663,3908	47,2005005	3,03359175	87301,1406	21,5182934	7,278517	2,428155	10775,45	8,449986	0	0	0	0
7810,7637	46,7645264	3,11856174	88917,4688	21,418684	7,161039	2,421559	10572,74	8,381516	0	0	0	0
7958,1366	46,337616	3,19705033	90323,2109	21,320694	7,041878	2,413225	10361,02	8,311487	0	0	0	0
8105,5095	45,8638954	3,28234482	91784,9219	21,2114315	6,921032	2,403157	10140,73	8,239861	0	0	0	0
8252,8824	45,3992004	3,36071754	93024,3047	21,1037006	6,798499	2,391356	9912,279	8,166595	0	0	0	0
8400,2553	44,8857269	3,44534969	94288,2969	20,9840164	6,674281	2,377827	9676,111	8,091643	0	0	0	0
8547,6282	44,3811035	3,52260017	95318,5938	20,8657284	6,548378	2,362569	9432,666	8,01496	0	0	0	0
8695,0011	43,8258553	3,60543132	96339,375	20,7347927	6,420794	2,345584	9182,395	7,936497	0	0	0	0
8842,374	43,2791405	3,68039894	97115,7578	20,6050568	6,291534	2,326871	8925,757	7,856205	0	0	0	0
8989,7469	42,6800919	3,76013374	97846,3906	20,4619579	6,160604	2,306428	8663,223	7,774029	0	0	0	0
9137,1198	42,0891075	3,8314991	98322,8906	20,3197956	6,028011	2,284254	8395,271	7,689915	0	0	0	0
9284,4927	41,444252	3,9066813	98716,2031	20,1635342	5,893765	2,260345	8122,389	7,603804	0	0	0	0
9431,8656	40,8068275	3,9729619	98846,9844	20,0078735	5,757876	2,234697	7845,077	7,515635	0	0	0	0
9579,2385	40,1141968	4,04197216	98857,0391	19,8373451	5,620356	2,207305	7563,842	7,425341	0	0	0	0

9726,6114	39,4282112	4,10151958	98597,9766	19,666996	5,481219	2,178163	7279,203	7,332855	0	0	0	0
9873,9843	38,6859016	4,1625762	98181,8281	19,4809818	5,340481	2,147264	6991,688	7,238102	0	0	0	0
10021,3572	37,9492912	4,21357632	97492,3984	19,2946243	5,198158	2,1146	6701,837	7,141003	0	0	0	0
10168,7301	37,1555138	4,26473856	96612,1875	19,0917683	5,054269	2,080161	6410,199	7,041475	0	0	0	0
10316,103	36,3663445	4,30521584	95457,6563	18,887928	4,908834	2,043938	6117,334	6,939428	0	0	0	0
10463,4759	35,5194588	4,34438944	94083,0234	18,6667042	4,761875	2,005919	5823,814	6,834764	0	0	0	0
10610,8488	34,6759529	4,37221241	92436,9922	18,4437275	4,613415	1,966091	5530,221	6,727377	0	0	0	0
10758,2217	33,7745285	4,39715862	90547,7422	18,2024212	4,463481	1,924442	5237,145	6,617156	0	0	0	0
10905,5946	32,8751526	4,41005135	88394,9844	17,9584312	4,312099	1,880955	4945,192	6,503974	0	0	0	0
11052,9675	31,9180412	4,4184041	85984,0391	17,6950836	4,159297	1,835613	4654,975	6,387699	0	0	0	0
11200,3404	30,9615631	4,41396141	83323,5234	17,4279346	4,005106	1,788401	4367,12	6,268181	0	0	0	0
11347,7133	29,9479675	4,40324354	80400,0391	17,1402912	3,84956	1,739296	4082,262	6,145257	0	0	0	0
11495,0862	28,9335594	4,37895346	77248,1953	16,8474979	3,692691	1,688279	3801,049	6,018746	0	0	0	0
11642,4591	27,8631306	4,34660292	73840,75	16,532917	3,534536	1,635326	3524,139	5,888446	0	0	0	0
11789,832	26,7904568	4,29987192	70234,7109	16,2115517	3,375133	1,580413	3252,202	5,754134	0	0	0	0
11937,2049	25,6633968	4,24327421	66394,3984	15,8668814	3,214521	1,52351	2985,918	5,615554	0	0	0	0
12084,5778	24,5327301	4,17146158	62395,0781	15,5134163	3,052741	1,464591	2725,979	5,472421	0	0	0	0
12231,9507	23,3498955	4,08798552	58198,3203	15,1348095	2,889838	1,403621	2473,087	5,324407	0	0	0	0
12379,3236	22,1622314	3,98844552	53893,1211	14,7448797	2,725856	1,340566	2227,959	5,171136	0	0	0	0
12526,6965	20,9252567	3,87548757	49443,9688	14,3274832	2,560843	1,275387	1991,32	5,012172	0	0	0	0
12674,0694	19,6824417	3,74561596	44948,832	13,8954935	2,394847	1,208044	1763,911	4,847004	0	0	0	0
12821,4423	18,393856	3,60065198	40380,3555	13,4329348	2,22792	1,13849	1546,482	4,675029	0	0	0	0
12968,8152	17,0987053	3,43794012	35840,8008	12,9513817	2,060115	1,066675	1339,799	4,495523	0	0	0	0
13116,1881	15,7620544	3,25858164	31315,377	12,4348602	1,891487	0,992544	1144,641	4,307608	0	0	0	0
13263,561	14,4184723	3,06067634	26906,2305	11,893074	1,722092	0,916036	961,8008	4,110198	0	0	0	0
13410,9339	13,0384207	2,84473133	22614,2637	11,3095932	1,551991	0,837084	792,0895	3,901926	0	0	0	0
13558,3068	11,6515026	2,60949755	18537,666	10,6911764	1,381242	0,755613	636,3343	3,681031	0	0	0	0
13705,6797	10,2339249	2,35503197	14694,5137	10,0197201	1,209911	0,671538	495,3821	3,445174	0	0	0	0
13853,0526	8,81003857	2,08061528	11175,9844	9,29658413	1,038061	0,584766	370,1018	3,191141	0	0	0	0
14000,4255	7,3620801	1,78601146	8016,79834	8,498353	0,865761	0,495188	261,3872	2,914294	0	0	0	0
14147,7984	5,90891075	1,47089314	5299,13184	7,61356783	0,693078	0,402682	170,1612	2,607508	0	0	0	0
14295,1713	4,439013	1,13489521	3071,55566	6,59899378	0,520086	0,307103	97,38135	2,258771	0	0	0	0
14442,5442	2,96556711	0,77792525	1406,57153	5,39371967	0,346858	0,208281	44,04718	1,844634	0	0	0	0
14589,9171	1,4834435	0,39964563	361,4617	3,81478453	0,17347	0,106006	11,21168	1,304506	0	0	0	0
14737,29	0	0,39964563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0