

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

UNIVERSITE DE ANNABA

INSTITUT DE GENIE CIVIL

THESE

PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION

DU GRADE DE MAGISTER
OPTION HYDRAULIQUE

PAR :

Mme S.DJEMIL née FERTIKH

_____ **THEME** _____

DETERMINATION DE L'EFFICACITE
DEMANDEE DE L'EPURATION DES EAUX
USEES A REJETER DANS UN EXUTOIRE

SOUTENU LE : 21 JUIN 1989

ENCADRE PAR :

V.ARTAMONOV

— ANNEE 1989 —

SOMMAIRE

1-INTRODUCTION

2-CONDITIONS DU REJET DES EAUX USEES DANS L'EXUTOIRE

- 2.1 Généralités
- 2.2 Les normes de la qualité demandée des eaux usées dans l'exutoire
- 2.3 L'efficacité demandée de l'épuration des eaux usées rejetées
- 2.4 Conclusion

3- BASE THEORIQUE DU PROCESSUS DE LA DILUTION DES EAUX USEES DANS L'EXUTOIRE

- 3.1 Généralités
- 3.2 Facteurs déterminants le processus de la dilution
- 3.3 Conformité à la loi de la dilution initiale
- 3.4 Conformité à la loi de la dilution principale
- 3.5 Conclusion

4- METHODE PRATIQUE DU CALCUL DE LA DILUTION

- 4.1 Généralités
- 4.2 La dilution dans les rivières
- 4.3 La dilution dans les lacs et retenues
- 4.4 La dilution dans les mers
- 4.5 Conclusion

5- PERFECTIONNEMENT DU CALCUL DE L'EFFICACITE DEMANDEE

- 5.1 Généralités
- 5.2 Analyse des possibilités de l'amélioration du calcul des rejets

6- CONCLUSION GENERALE

1- INTRODUCTION

L'eau revêt dans notre pays la dimension d'un problème national, car les difficultés existantes sont ressenties de façon sensible par les citoyens, l'agriculture et l'activité industrielle.

Il s'avère clairement qu'aucun développement économique et social important n'est possible sans disponibilités de ressources hydrauliques. Ce caractère préalable est à souligner et à prendre en considération dans toute planification d'activités économiques et sociales.

La Charte Nationale a fixée que les ressources en eau aussi bien celles qui coulent en surface que celle renfermées dans les nappes souterraines, constituent l'une des principales richesses sur lesquelles reposent la prospérité du pays dans l'avenir, ainsi que la réussite de son développement économique et social...

Ce développement appelle, par ailleurs, un accroissement considérable des disponibilités en eau pour répondre aussi aux besoins de la population, que pour satisfaire ceux de l'activité économique. Aussi le règlement du problème de l'eau à travers le territoire est-il une des conditions fondamentales que l'état doit créer pour assurer la progression continue du développement.

L'accroissement démographique, le développement industriel et agricole d'une part et le retard pris dans la mobilisation et la protection des ressources et la mise en place des structures de gestion adéquates d'autres part, ont créé une situation de pénurie quasi permanente d'une ressource indispensable et non substituable.

Dés 1979, les plus hautes instances politiques se sont penchées sur ce problème : le comité central à l'issue de sa 2^{ème} session et le congrès extraordinaire ont définis après analyse de la situation, les tâches prioritaires autour desquelles s'articulerait la politique nationale de l'eau.

Le gouvernement Algérien a prévu un grand investissement dans le domaine hydraulique pour faire face aux besoins urgents en eau potable et en protégeant l'environnement contre la pollution provoquée par les eaux usées. Les investissements ont dépassés vingt trois milliards de dinars pour le premier plan quinquennal et ont augmentés pour le quinquennal en cours.

Plus récemment encore, la 16^{ème} session du comité central, tenue en juin 1986, a permis de mesurer le chemin parcouru et de dégager des résolutions et recommandations pertinentes pour la poursuite des efforts visant à combler les déficits en eau potable, industrielle, mais surtout pour développer l'irrigation, seule voie permettant l'atteinte de l'objectif stratégique d'autosuffisance alimentaire.

Tous les efforts visant à accroître les volumes mobilisés et à réduire les déficits en eau demeurent bien sur insuffisantes s'ils ne sont pas étayés par une politique d'économie des eaux s'appuyant sur :

- Une meilleure protection des ressources des eaux naturelles
- Le traitement systématique et adéquat des eaux usées rejetées dans les exécutoires.

La Direction de la Formation et de la Recherche du ministère de l'Hydraulique a organisé en 1987 à Batna le séminaire national relatif aux « domaines et axes de recherches en hydraulique » sous le titre « protection et conservation des eaux ». La communication du Ministère de l'Hydraulique a recensé les démarches à suivre dans le cadre de la recherche. Celle-ci doit s'intéresser, selon le rapporteur à la conception d'un réseau de surveillance et de contrôle des ressources en eau, à l'évaluation de l'état de pollution des principaux cours d'eau des lacs, des rivières et de la mer avec identification de leurs capacités d'autoépuration. La recherche doit également porter sur les procédés de traitement des eaux, adaptés aux conditions locales ainsi que des eaux résiduelles, industrielles et urbaines.

Cet ensemble « traitement des eaux usées, pollution des eaux naturelles » doit subir une recherche commune, car habituellement les eaux naturelles sont des exutoires pour des eaux usées traitées par la station d'épuration.

L'efficacité demandée de l'épuration des eaux rejetées par cette station doit tenir compte de la capacité de l'autoépuration de l'exutoire en gardant les conditions nécessaires dans la section arbitraire de ce cours d'eau.

Cette autoépuration est présentée par le taux de la dilution des eaux usées rejetées par l'eau d'exutoire. La valeur de la dilution peut-être déterminée par les méthodes théoriquement bien basées mais qui ont certaines simplifications, entraînant la convergence avec la réalité.

L'analyse assez profonde bibliographique de la théorie et des moyens de calcul pratique nous a montré les possibilités de l'influence des rejets successifs de la transformation des pollutions et de la nécessité d'élaborer une série de programmes pour assurer le choix des conditions optimales du rejet des eaux usées.

Nos études théoriques, nous ont donné des formules pratiques enrichissantes : la méthode de calcul de la dilution des eaux usées et de l'autoépuration des exutoires.

Nos études ont renforcé la réalisation des demandes impératives de garder la qualité des eaux superficielles, en tenant compte des possibilités réelles exutoire et autoépuration d'un côté et de déterminer au maximum le prix de la station d'épuration destinée à traiter des eaux usées à rejeter.

Enfin nous avons bien développé la connaissance théorique de la protection des eaux qui sont la partie importante du programme des recherches hydraulique dans notre pays.

2- CONDITIONS DU REJET DES EAUX USEES DANS L'EXUTOIRE

2.1- Généralités :

Les eaux superficielles dans l'état naturel se caractérisent par leur diversité tant dans la composition chimique que dans la distribution des matières organiques et minérales ainsi que la flore microbienne.

Les particularités des eaux superficielles sous l'influence permanente des conditions climatiques et hydrauliques, déterminent les types et la composition quantitative des organismes hydrauliques, qui sont habituellement les mêmes assez longtemps si les conditions écologiques d'habitation restent constantes. En principe les changements indésirables de la composition et des propriétés des eaux naturelles se passent par l'intermédiaire du dérangement de l'équilibre (1) écologique qui dépend du résultat de l'influence humaine. Donc nous pouvons considérer que les eaux naturelles sont polluées si leur composition et leurs propriétés sont changées sous l'influence directe ou indirecte de l'activité industrielle ou bien des conditions domestiques de la ville qui en général provoquent des difficultés pour l'utilisation. Dans le cas contraire les eaux sont propres, si leur composition et propriétés ainsi que leur équilibre écologique initial ne sont pas changés par l'activité humaine. On peut dire que cette action des eaux polluées est relative ; car les pièces d'eau qui sont polluées par les processus naturels et non pas par l'activité humaine ne sont pas considérées comme des eaux polluées.

Pour garder les conditions écologiques dans l'exutoire à examiner, il faut respecter les principes suivants (1, 2,3) :

1. le rejet des eaux usées est limité par la qualité des eaux de l'exutoire dans le point calculé et non pas la qualité des eaux à rejeter.
2. les concentrations limitées des pollutions dans les eaux de l'exutoire au point calculé sont diverses et dépendant du type d'utilisation des eaux. Ces concentrations s'appliquent à la composition des eaux de l'exutoire au même point calculé.
3. les conditions critiques sont les plus mauvaises en tenant compte de la dilution prévue des eaux usées dans l'exutoire avant le point calculé.
4. on peut tenir compte des processus d'autoépuration des eaux au fur et à mesure de leur parcours à partir du rejet jusqu'au point calculé si la dynamique de ces processus est bien étudiée pour l'exutoire donné et les eaux à rejeter.

On peut accepter tous ces principes en tenant compte des conditions nécessaires écologiques de l'exutoire c'est-à-dire des concentrations maximales possibles des matières polluantes dans l'exutoire.

2.2- Les normes de la qualité demandées des eaux dans l'exutoire :

En pratique on distingue 2 types possibles de l'utilisation des eaux naturelles (4,5).

- Pour l'alimentation en eau et l'utilisation humaine.
- Aquaculture

Naturellement, ses conditions sont bien diverses mais elles ont une influence considérables (directe ou indirecte) sur la santé humaine, voila pourquoi il faut bien les respecter, on ne peut pas se permettre de dépasser les valeurs limitées même pour une seule caractéristique. D'autre part une protection plus efficace des pièces d'eau contre la pollution demande à appliquer des valeurs limitées pour des conditions plus défavorables de la dilution des eaux usées par les eaux de l'exutoire.

Après cela, les autres parties de l'exutoire qui se trouvent plus loin du point calculé auraient toujours des conditions plus favorables que celles limitées. Donc, il s'agit du choix exact du point de vue sanitaire, du point calculé qui s'appelle parfois « la section calculée de l'exutoire ».

- Pour les exutoires du 1^{er} type, cette section sera fixée à la distance de 1km avant le point prévu à l'utilisation.
- Pour les exutoires du 2^{ème} type les normes de la protection de la faune aquatique demande de garder cette section loin de 500m après le rejet et pour les tronçons des frayères il faut garder des conditions pour l'endroit du rejet lui-même.
- Pour les lacs, les retenues et les mers ou la notion de la direction du courant est presque inconnue, des conditions s'imposent.
- Les lacs et les retenues une distance d'1km d'utilisation dans n'importe quelle direction.
- Pour les mers une distance de 300m les conditions pour permettent de déterminer simplement la section calculée pour les types d'exutoire. Et, il nous reste à analyser la nature des caractéristiques à respecter pour le calcul du rejet.

Les caractéristiques des eaux de l'exutoire sont les suivantes (4,6).

- Les caractéristiques générales qui sont les matières en suspension, pollution flottante, l'odeur, le goût, la couleur, la température, pH et la composition minérale.
- Les caractéristiques biochimiques qui sont le DBO (demande biochimique d'oxygène), l'oxygène dissout et les bactéries pathogènes.
- Les substances nocives et toxiques

Chaque type des polluants a sa propre concentration limite qui est déterminées par les essais sanitaires et médicaux.

A propos des matières nocives et toxiques, elles sont classées en fonction de leur action sur la prise d'eau.

- 1- Les substances dont les concentrations limitées sont déterminées par l'influence sanitaire et toxique.
- 2- Les substances dont les concentrations limitées sont déterminées par l'influence sanitaire générale.
- 3- Les substances dont les concentrations limitées sont déterminées par l'influence Organoleptique.

Pour l'exutoire qui s'utilise comme bassin aquatique, on constate deux substances supplémentaires :

- a) Les substances dont les concentrations limitées sont déterminées par l'influence toxique.
- b) Les substances dont les concentrations limitées sont déterminées par l'influence des poissons.

Les conditions sanitaires à partir de ses valeurs limitées seront suffisantes si les pollutions du même type se trouvent dans les eaux en concentration dont la valeur sommaire assure la relation limite (2,4).

$$\sum_1^m \frac{C_{ri}}{C_{li}} \leq 1 \quad (2-1)$$

Où C_{ri} : La concentration réelle de la 1^{ère} pollution dans l'eau.

C_{li} : La concentration limite de la 1^{ère} pollution dans l'eau.

m : Le nombre des pollutions à considérer du même type de limitation.

Par cette expression, on peut tenir compte de l'action mutuelle négative des pollutions dont l'action sanitaire ou toxique est la même. Dans le cas général, il faut composer et vérifier l'équation du type (2-1) en fonction des types de pollutions existants dans l'eau. En transformant l'équation (2-1), nous pouvons déterminer la concentration maximale possible pour un seul polluant si les autres sont bien connues :

$$C_r \leq C_l \left(1 - \sum_1^{m-1} \frac{C_{ri}}{C_{li}} \right). \quad (2-2)$$

Où C_r : La concentration maximale possible d'une pollution à déterminer.

C_l : La concentration limite d'une même pollution.

Remarque

En général, pour toute pollution, ils existent des concentrations limites qui sont obtenues par une analyse complète et approfondie de leur influence sur la flore, la forme hydrique et la santé humaine.

En déterminant les conditions du rejet, il faut tenir compte des conditions hydrologiques les plus mauvaises pour la dilution, distribution et l'autoépuration des pollutions rejetées telles que (2, 7, 8, 9,10).

Maitrisant les concentrations limites et les conditions de leurs applications, nous pouvons discuter de la détermination de l'efficacité nécessaire de l'épuration des eaux usées qui seront rejetées dans l'exutoire de n'importe quel type.

- Pour les rivières : on a un débit avec une fréquence = 95%
- Pour les lacs et les retenues : on doit avoir un niveau minimal des eaux et une direction la plus défavorable du courant d'eau.

2.3- L'efficacité demandée de l'épuration des eaux usées à rejeter :

En déterminant le taux de l'épuration des eaux usées, nous supposons que la valeur de la dilution des eaux à rejeter par les eaux de l'exutoire est connue (voir fig.2-1), à partir de ce moment, on pourra éliminer la nécessité de tenir compte du type d'exutoire pendant le calcul à travers les caractéristiques à calculer, nous pouvons présenter la concentration maximale possible des pollutions suivantes :

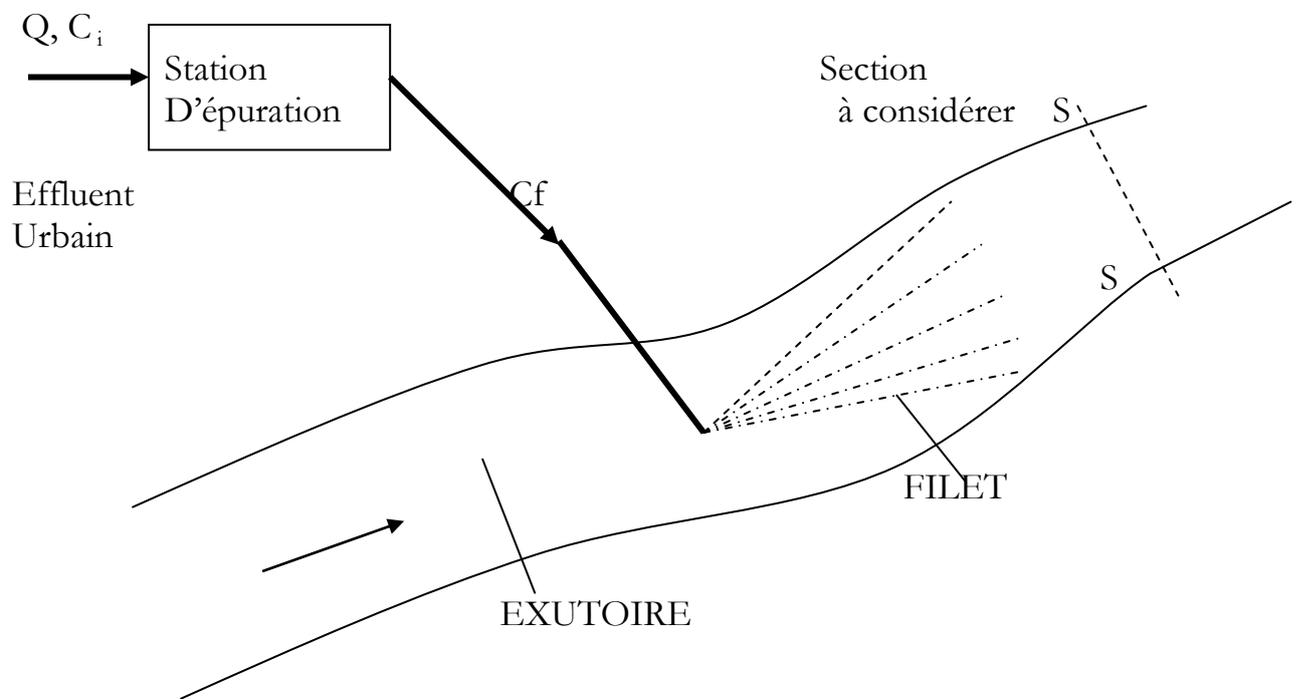
- Matières en suspension
- Matières toxiques et nocives
- Substances organiques présentées par la valeur du DBO
- Oxygène dissout dont la présence est nécessaire pour les organismes hydriques
- pH du mélange
- température du mélange

Figure(2-1)

Schéma principal du rejet des eaux usées après traitement

C_i : Concentration initiale des eaux usées à rejeter

C_r : Concentration finale des eaux usées à rejeter



E : Efficacité d'épuration des eaux usées à rejeter

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\%$$

Avant de déterminer les caractéristiques maximales possibles des eaux à rejeter, il faut bien comprendre que la formation des caractéristiques des eaux de l'exutoire dans la section calculée est produite par deux processus confondus.

- L'autoépuration par les procédés naturels physico-chimique y compris biochimique.
- La dilution hydrodynamique des eaux rejetées par l'eau de l'exutoire.

En réalité, le premier processus est assez complexe et il ne forme qu'une faible partie des changements des caractéristiques des eaux, c'est pourquoi, le calcul pratique est basé souvent sur la dilution des eaux.

2.3.1- Les particularités générales à la loi de la dilution:

La dilution est un procédé de la réduction des polluants qui se passe à la suite du mélange des eaux usées rejetées par le milieu hydrique de l'exutoire.

L'intensité de ce procédé est caractérisée quantitativement (4,11) par le taux de dilution qui est égal au rapport d'une somme des débits des eaux usées rejetées et des eaux utilisées de l'exutoire par le débit des eaux usées rejetées.

$$n = \frac{Q+Q_e}{Q_0} \quad (2-3)$$

Où Q = débit des eaux utilisées de l'exutoire

Q_0 = débit des eaux rejetées

n = taux de dilution

En tenant compte du débit total des exutoires, on utilise une équation plus précise de la forme :

$$n = \frac{\gamma Q_e + Q_0}{Q_0} \quad (2-4)$$

Où γ = Coefficient du mélange qui montre la partie du débit calculée de l'exutoire prenant part au mélange.

Q_e = débit calculé de l'exutoire

La valeur « n » augmente toujours dans la direction du courant des eaux de l'exutoire. Pour la section initiale (l'endroit du rejet) le taux de dilution « $n = 1$ », au fur et à mesure que l'eau de l'exutoire qui forme un mélange augmente, la valeur « n » augmente.

La valeur maximale possible de « n » est limitée par l'utilisation de tout le débit de l'exutoire pour former le mélange.

En utilisant les concentrations des matières polluantes, on peut présenter l'équation (2-3) comme le rapport des concentrations :

$$n = \frac{C_f - C_e}{C_{lim} - C_e} \quad (2-5)$$

Où C_f = concentration finale

C_e = concentration dans l'exutoire

C_{lim} = concentration limite

La concentration des pollutions après le mélange complet des eaux usées est obtenue simplement par les conditions suivantes :

Pendant la période « dt », les eaux usées donnent à l'exutoire la quantité des pollutions $C_f Q_0 dt$ et avec l'eau de l'exutoire $C_e Q_e dt$.

En supposant qu'il y a un mélange complet, on peut déterminer la quantité des pollutions qui passe par la section considérée $C (Q_0 + Q_e - Q_p) dt$;

Où Q_p = les pertes possibles des eaux par l'évaporation, c'est à dire sans matière Polluantes.

Le bilan de ces matières organiques à partir des valeurs $C_f Q_0 dt$; $C_e Q_e dt$ et $C(Q_0 + Q_e - Q_p)dt$ (4,11) se résume dans l'équation :

$$C_f Q_0 dt + C_e Q_e dt - C(Q_0 + Q_e - Q_p)dt + WdC = 0 \quad (2-6)$$

Où W = volume d'eau dans l'exutoire

dC = changement de la concentration pour un temps « dt »

WdC = est la masse d'une pollution accumulée dans l'exutoire

Après les transformations mathématiques assez simples nous aurons

$$C = \frac{C_f Q_0 + C_e Q_e}{Q_0 + Q_e - Q_p} \left[1 - \exp \left[-\frac{Q_0 + Q_e - Q_p}{W} t \right] \right] + C_e \exp \left[-\frac{Q_0 + Q_e - Q_p}{W} t \right] \quad (2-7)$$

Cette équation détermine la concentration des pollutions dans n'importe quel moment pour le mélange complet des eaux usées.

On peut simplifier l'équation (2-7) en l'appliquant pour les exutoires de types divers.

- Pour les rivières, le volume W est très inférieur à la valeur $(Q_0 + Q_e - Q_p)$ et la valeur Q_p est négligeable.

Dans ce cas, l'équation (2-7) s'écrit de la façon suivante :

$$C = \frac{C_f Q_0 + C_e Q_e}{Q_0 + Q_e} \quad (2-8)$$

- Pour les lacs, avec un courant d'eau et les retenues, le rapport du volume d'eau dans cette pièce d'eau par celui de l'influent pendant plusieurs années est présenté par la période du changement complet de l'eau (2-4).

$$\beta = \frac{W}{Q_0 + Q_e + Q_p} \quad (2-9)$$

En utilisant l'équation (2-7), nous obtiendrons la formule suivante :

$$C = (C_f Q_0 + C_e Q_e) \frac{\beta}{W} \left[1 - \exp \left[-\frac{t}{\beta} \right] \right] + C_e \exp \left[-\frac{t}{\beta} \right] \quad (2-10)$$

Nous voyons bien que la concentration obtenue dépend du temps pendant lequel les eaux usées sont rejetées dans l'exutoire.

En général, les changements de cette concentration diminuent considérablement pour une durée assez grande. On peut supposer que cette concentration sera constante pour le temps $t \geq 4\beta$. Et tenant compte de cette valeur, l'équation (2-9) deviendra plus simple.

$$C = (C_f Q_0 + C_e Q_e) \frac{\beta}{W} \quad (2-11)$$

Pour le cas de la mer dont le volume d'eau est très supérieur à celui des eaux rejetées, nous pouvons supposer que la valeur « C » tend vers « C_e », mais cette proposition est valable que pour mélange idéal. Donc nous pouvons dire que la tache de

la dilution des eaux usées par l'exutoire sera résolue par la détermination de la concentration d'une pollution dans n'importe quel point de l'exutoire, et principalement dans la section calculée de cet exutoire.

En général, l'efficacité d'une dilution est présentée par son coefficient de dilution « n ».

En supposant que la valeur « n » est connue, nous discuterons le moyen de la détermination des caractéristiques à étudier des eaux rejetées de la station d'épuration dans l'exutoire.

2.3.2- Les matières en suspension (MES):

La concentration maximale possible des MES doit satisfaire la condition évidente, selon laquelle on ne peut pas augmenter la concentration initiale des MES dans l'exutoire qui est supérieure à la valeur limite.

$$C_f^{mes} \leq C_e^{mes} + nC_{lim}^{mes} \quad (2-12)$$

Où

- C_e^{mes} = concentration des MES avant le rejet dans l'exutoire.
- C_{lim}^{mes} = l'augmentation admissible de la concentration des MES après le rejet des eaux usées qui est prise 0,25 mg/l et 0,75 mg/l respectivement pour les exutoires du 1° et 2° type.
- C_f^{mes} = concentration finale des MES.

Pour éviter la formation des dépôts dans l'exutoire par les particules solides des MES, il est défendu de rejeter dans les rivières des eaux usées dont la vitesse hydraulique dépasse 0,4 mm/s et pour les autres types d'exutoires 0,2 mm/s.

L'efficacité de l'épuration des eaux usées des MES se détermine par l'expression évidente.

$$E^{mes} = \frac{C_i^{mes} - C_f^{mes}}{C_i^{mes}} * 100 \quad (2-13)$$

Où

C_i^{mes} , C_f^{mes} = concentration initiale et finale des MES.

2.3.2- Les pollutions toxiques et nocives:

La concentration maximale possible de chacune de ces matières est :

$$C_f^{tox} \leq n (C_{lim}^{tox} - C_e^{tox}) + C_e^{tox} \quad (2-14)$$

Pour les indices, la même signification que pour les MES.

- C_e^{tox} = Concentration d'une substance toxique dans l'exutoire avant le rejet.
- C_{lim}^{tox} = Concentration maximale possible dans la section calculée de l'exutoire (voir tableau).

En utilisant l'équation **(2-13)**, la concentration d'une matière toxique sera :

$$C_f^{tox} = (1 - E^{tox} / 100) C_i^{tox} \quad \text{(2-15)}$$

En comparant les parties droites (2-14) et (2-15), on peut déterminer la concentration d'une pollution toxique dans la section calculée de l'exutoire.

$$C_{lim}^{tox} = \frac{1}{n} (1 - E^{tox} / 100) C_i^{tox} + \frac{n-1}{n} C_e^{tox} \quad \text{(2-16)}$$

Pour les pollutions toxiques du même type, il faut accorder les valeurs finales par l'équation générale **(2-1)**, dans ce cas, la formule de la détermination de l'efficacité de l'épuration.

Certains éléments rencontrés dans l'Eau

Eléments	SVERDRUP JOHNSON FLEMING	F.A.O (1971)	GOLDBERG (1963)	
	Concentration (mg/kg)	Concentration (mg/l)	Concentration (mg/l)	Quantité totale
Chlore	18980		19000,0	29,3.10 15
Sodium	10561		10500,0	16,3.10 15
Magnésium	1272		1350,5	2 1.10 15
Calcium	400		400,0	0,60.10 15
Carbone	28		28,0	0,04.10 15
Azote	0,01-0,7		0,5	780.10 9
Phosphore	0,001-0,10		0,07	110.10 9
Zinc	0,005	0,002	0,01	16.10 9
Fer	0,002 - 0,02	0,010	0,01	16.10 9
Aluminium	0,5	0,010	0,01	16.10 9
Cuivre	0001 - 0,01	0,001	0,003	5.10 9
Nickel	0,0001		0,002	3.10 9
Vandium	0,0003	0,002	0,002	3.10 9
Manganèse	0,001 - 0,01		0,002	3.10 9
Cobalt	Présent		0,005	0,8.10 9
Cadium	Présent	0,00002	0,0001	150.10 6
Chrome	Présent	0,00004	0,00005	78.10 6
Plomb	0,004	0,00002	0,00003	46.10 6
Mercuré	0,00004	0,0001	0,00003	46.10 6

$$\frac{1}{n} \sum_i^m (1 - E_i) \frac{C_i^i}{C_{lim}^i} + \frac{n-1}{n} \sum_i^m \frac{C_e^i}{C_{lim}^i} \leq 1 \quad (2-17)$$

D'habitude l'efficacité de l'épuration n'est pas la même pour les pollutions diverses du même type. Pour cela, il faut nous limiter par le choix de l'efficacité d'épuration pour la pollution réduite plus faiblement, car les autres pollutions qui ont une efficacité plus grande, seront obligatoirement très bien réduites. Cette efficacité d'épuration de la pollution limite se caractérise par l'équation suivante :

$$E_j = 1 - \frac{1 - \left((n-1)/n \right) \sum_1^m (C_e^i / C_{lim}^i)}{(1/n) \sum_1^m (C_f^i / C_{lim}^i)} \quad (2-18)$$

2.3.4- La valeur du DBO :

Il y a une particularité de la valeur du DBO ; la diminution de cette valeur ne se passe pas seulement par la dilution générale des eaux usées, mais aussi par le processus d'autoépuration biochimique.

Généralement, l'intensité du processus de l'épuration biochimique est caractérisée par l'équation suivante :

$$L_t = L_a 10^{-kt}$$

Où

- L_t = DBO du mélange des eaux après « t » jours du rejet.
- L_a = DBO du mélange au moment du rejet.
- k = Une constante de la consommation biochimique de l'oxygène.

Cette équation se transforme de la façon suivante : **(4,11)**

$$L_f = \frac{n-1}{10^{-kt}} (L_{lim} - L_e 10^{-k_1 t}) + \frac{L_{lim}}{10^{-k_1 t}}$$

L_{lim} = La valeur maximale possible du DBO qui est égale à 3 ou 6mg/l selon le type d'exutoire.

k_1, k_1' = Sont les constantes de la consommation d'oxygène par les eaux usées rejetées et par les eaux d'exutoire.

Les valeurs de ces coefficients dépendent fortement de la nature de l'exutoire, des matières organiques à oxyder et aussi de la température dans laquelle le processus se passera. Etant donné que le coefficient diminue si la température décroît, nous calculerons l'efficacité de l'épuration en tenant compte de la température la plus basse,

pour les conditions les plus défavorables, on prend souvent « $k_1 = 0$ » (pour la plupart des cas étudiés « $k_1 = 0,005$ ») pour éviter les erreurs possibles de la détermination de ce coefficient. Pour les pollutions organiques des eaux rejetées, le coefficient « k_1 » dépend de l'origine et de la nature des matières organiques et elles doivent être déterminées pour chaque cas.

L'efficacité demandée de l'épuration pour la valeur du DBO se détermine par la formule qui est analogue à la formule (2-13).

2.3.5- L'oxygène dissout :

La concentration d'oxygène dissout est fixée pour la section la plus défavorable de l'exutoire après le rejet des eaux usées, l'oxygène dissout est en général consommé par les matières organiques se trouvant dans les eaux, sa concentration sera déterminée par la réduction du DBO des eaux. On trouve que cette concentration minimale sera pendant deux jours la consommation d'O₂ par les bactéries, dans ce cas, l'équation de la détermination de la valeur du DBO admissible pour garder la concentration minimale possible d'O₂ dissout dans les eaux est déterminée par la formule : (4).

$$L_f = \frac{n-1}{0,4} (O_e - 0,4L_e - O_{lim}) - \frac{O_{lim}}{0,4} \quad (2-21)$$

Où

- O_e = Concentration d'O₂ dissout dans l'exutoire avant le rejet des eaux usées.
- O_{lim} = Concentration minimale possible d'O₂ dissout dans la section calculée.
- 0,4 = Le coefficient de la transformation d'une valeur totale du DBO en valeur du DBO₂.

Cette équation ne tient pas compte de la dissolution d'O₂ de l'air dans le mélange au cours de son déplacement à partir du rejet jusqu'à la section calculée.

Ce processus s'appelle « processus de la ré aération », et habituellement, il forme la réserve supplémentaire d'O₂.

La valeur du DBO calculée par la formule (2-21) doit être comparée avec celle de la formule (2-20) et on adoptera la valeur du DBO la plus petite, à partir de laquelle nous trouverons par la formule (2-13) l'efficacité nécessaire de l'équation des eaux usées du DBO.

2.3.6- La valeur du pH :

Pour garder les conditions normales de la vie des organismes et des plantes aqueuses, il faut que la valeur du pH soit entre les limites bien précises qui sont (5,12).

$$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$$

Les conditions les plus favorables pour garder cette valeur seront assurées si la valeur du pH des eaux rejetées se trouve dans ces limites, surtout en sachant que les mêmes valeurs sont nécessaires pour l'allure normale du travail des installations biochimiques...

Dans le cas où les eaux usées sont neutralisées par les eaux de l'exutoire, le calcul de la valeur pH n'est pas nécessaire.

2.3.7- La température :

En supposant que la chaleur spécifique des eaux = 1 kcal / kg dgr, nous aurons une équation simplifiée de la détermination de la température admissible des eaux à rejeter (2, 4,11).

$$T_f = T_e + nT_{lim}$$

Où

- T_{lim} = Changement admissible de la température dans les eaux de l'exutoire après le rejet des eaux usées.
- T_f, T_e = Température finale de l'exutoire.

En général, cette valeur se trouve entre plus ou moins 1,5 → 3° C.

Ce calcul, n'est pas nécessaire pour les conditions les plus fréquentes, où la température des eaux usées est presque égale à celle des eaux de l'exutoire.

2.4 - Conclusion :

L'efficacité demandée pour l'épuration des eaux usées dépend de plusieurs facteurs :

1. Connaître les valeurs limites de la qualité des exutoires qui sont prêt à accueillir les eaux usées.

2. le taux d'épuration des eaux usées dépend d'une valeur qui est la dilution des eaux à rejeter par l'exutoire. Pour cela nous devons déterminer les concentrations maximales possibles des pollutions suivantes :

MES, matières T et N, substances organiques → DBO, oxygène dissout, pH du mélange et la température du mélange qui sont formées par deux processus qui se passent en même temps.

- L'autoépuration.
 - Dilution hydrodynamique.
3. La dilution est un procédé de la réduction des pollutions dépendant du type de l'exutoire dans lequel l'eau est rejetée. Son intensité est égale au rapport d'une somme, des débits des eaux usées rejetées, et des eaux utilisées de l'exutoire par le débit des eaux usées.
 4. La concentration maximale des MES ne doit pas dépasser la valeur limite, satisfaire cette condition pour pouvoir déterminer l'efficacité de l'épuration des eaux usées dans l'exutoire.
 5. Comme pour les MES, satisfaire la condition que la concentration maximale des matières toxiques et nocives ne doit pas dépasser la valeur limite, étant donnée que les pollutions ne sont pas du même type. On doit se limiter à l'efficacité d'épuration des eaux usées à la pollution réduite.
 6. Fixer la concentration d'O₂ dissout dans la section la plus défavorable.
 7. Déterminer la valeur du DBO pour pouvoir calculer l'efficacité d'épuration des eaux usées.
 8. Pour le pH, on se limitera aux deux valeurs $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$.

3- BASE THEORIQUE DU PROCESSUS DE LA DILUTION DES EAUX USEES DANS L'EXUTOIRE :

3-1 Généralités :

En discutant les conditions du rejet des eaux usées dans l'exutoire, nous avons conclu que les concentrations finales des eaux à rejeter à la sortie de la station d'épuration dépendent de plusieurs caractères sanitaires et d'une seule valeur hydrodynamique, c'est le coefficient de la dilution « n » qui a été présenté par la formule (2-3) ou (2-4), ce coefficient est étroitement lié avec les conditions hydrauliques du rejet, les caractéristiques hydrodynamiques du mouvement d'eau dans l'exutoire, etc...

La détermination de ce coefficient peut être assurée par les mesures réelles des eaux d'exutoire après le rejet des eaux usées. Il y a d'étudier les conformités de la loi du processus de la dilution des eaux usées dans l'exutoire en utilisant les généralités théoriques et l'expérience pratique présentée dans la bibliographie existante.

3-2 Facteurs déterminant le processus de la dilution :

La dilution des eaux usées dans l'exutoire se détermine par l'influence des 3 processus suivants (2,7).

1. La distribution des eaux usées dans la section initiale de l'exutoire (l'endroit du rejet) qui dépend de la construction de ce rejet.
2. La dilution initiales des eaux usées se passe sous l'action des forces turbulentes qui sont créés par la vitesse importante à la sortie du rejet des eaux usées (n_i).
3. La dilution principale des eaux usées se détermine par le processus proprement dit hydrodynamique dans l'exutoire nous calculons que les conditions de la dilution se classant en deux groupes selon les particularités influentes sur ce processus (n_p).

$$\text{Où } n = n_i \times n_p$$

A- Les propriétés constructives et technologiques eu rejet des eaux usées.

B- Les particularités hydrodynamique et hydraulique de l'exutoire.

Le 1^{er} groupe comporte plusieurs facteurs tel que la construction, le nombre, la forme, les dimensions des trous du rejet, le débit, la vitesse relative des eaux rejetées et les caractéristiques technologiques et sanitaires des eaux usées (caractères physiques, concentration des matières polluantes etc...).

L'étape initiale de la dilution se détermine en général par les particularités constructives du rejet, on peut considérer qu'elle est bien précise quand la dilution se passe avec une intensité assez grande pour des rejets qui sont distribués en plusieurs filets. Pour ce cas, la distance jusqu'à la section avec la dilution demandée est réduite considérablement par rapport à celle du rejet d'un seul tuyau. En principe, les eaux usées sortantes du rejet ont une vitesse qui dépasse celle du milieu aqueux.

L'influence de cette différence de vitesse est manifestée par l'existence du courant du flux structuré par les filets turbulents dont la particularité principale consiste à entraîner les particules de l'eau du milieu par ces filets. Cela provoque d'une part l'augmentation progressive de la section et du débit d'un filet et d'autre par la diminution de la vitesse et de la concentration initiale. Cette diminution des concentrations dans le flux des filets s'appelle la dilution initiale. Pour les caractéristiques physiques des eaux usées, l'influence maximale sur la dilution est provoquée par la densité initiale et la température, non pas par les valeurs absolues. En général, cette influence dépend de la différence entre les caractéristiques des eaux usées et de l'exutoire c'est-à-dire la densité et la température qui sont en excès.

Pour les eaux usées domestiques, la densité peut changer en moyenne égale à 1 g/cm^3 , la température correspond à la température de l'atmosphère et dépend par conséquent des conditions méthodologiques, pour les conditions de l'URSS la température change de $7^\circ \rightarrow 22^\circ\text{C}$, pour l'Algérie elle peut atteindre des changements très importants. Tous ce qui concerne la température et l et la densité des eaux usées industrielles, elles sont liées avec le processus technologique et changent dans des limites assez vastes.

Le 2^{ème} groupe est présenté tout d'abord par le caractère du mouvement de l'eau dans l'exutoire sous la forme de courant dans la zone turbulente. Les causes qui provoquent ces mouvements sont le débit, le vent, la satisfaction des températures, la densité des eaux, les caractères morpho métriques des lits ou des chéneaux de l'exutoire et le taux de change de l'eau. Il faut discuter séparément les pièces d'eau et les cours d'eau qui se distinguent fortement par les particularités diverses hydrologiques.

Les exutoires qui sont représentés par un courant d'eau, ont toujours la turbulence bien développée au cours de la dilution qui dépend du développement existant de la diffusion turbulente par la dilution initiale, l'influence de l'intensité de la diffusion turbulente est inférieure par rapport à l'action des filets turbulents.

Mais au fur et à mesure de la dilution, cette influence se développe plus fortement et à partir d'un certain moment, elle définit entièrement les propriétés du processus de la dilution.

Cette étape de la dilution qui est conditionnée par la diffusion turbulente et déterminée par les paramètres hydrauliques des fluents s'appelle la dilution principale.

Certaines influences ont des courants secondaires qui sont provoqués par l'action des forces de Coriolis ou des forces tangentielles existantes dans les déviations du lit fluvial, on peut nommer les autres facteurs qui provoquent une certaine influence sur la dilution à savoir les clés dans la rivière, certains obstacles, le sol du lit, etc...

Dans les pièces d'eau, ils existent des courants temporaires à cause du vent, des différences des températures, des densités, des changements de la pression atmosphérique et des marées. Habituellement, entre ces forces, on ne tient compte que de l'essentiel. Pour cela, tous les courants sont classés sur les courants du vent, les courants des gradients, les courants des marées et les courants permanents.

Dans la plupart des mers, des lacs, des retenues, des courants, des marées et des gradients, les courants sont faiblement manifestés, c'est pour cela, que le courant essentiel est celui du vent. Pour les lacs et retenues, on peut ajouter ainsi les courants permanents s'ils existent. L'image réelle de tous ces courants se fixe sur la base des observations systématiques de plusieurs années pour les situations diverses hydrométéorologies de l'exutoire, les propriétés physico-chimiques. Les plus importantes sont la température, la minéralisation, la densité dont le caractère de la distribution ne détermine pas seulement le régime général hydro chimique mais influe sur sa dynamique.

Cette conclusion est importante surtout sur les mers.

La connaissance de tous ces facteurs permet de ne pas mentionner seulement le processus de la dilution des eaux usées mais aussi tenir compte en qualité de leur influence.

3-3 Conformité à la loi de dilution initiale:

Etudions le flux du filet sortant d'une source de diamètre « d_0 » sous l'angle « φ » avec la vitesse « V_0 », le liquide qui s'écoule à une densité « ρ_0 » et une viscosité cinétique « ν_0 » entre autre les paramètres initiaux de la densité des eaux de l'exutoire « ρ_{00} » et la vitesse de l'écoulement de l'exutoire que influe sur le mouvement d'un tel flux des eaux usées, dans le cas du milieu stratifié du récepteur, il y a encore le gradient de densité $\partial \rho_{00}$ qui influe aussi sur la dilution.

∂y

Dans cette formule, la valeur est la profondeur de l'eau d'exutoire dans la section à considérer. En tenant compte de toutes ces influences, on peut écrire la formule de la dilution initiale :

$$(3-1) \quad n_i = F(x; y; d_0; \nu_0; \varphi_0; V_0; \rho_0; \rho_{00}; g; V_e; \frac{\partial \rho_{00}}{\partial y})$$

En utilisant le π Théorème connu, l'équation (3-1) peut être présentée par les fonctions suivantes des complexes sans dimensions.

$$\bar{X} = \frac{X}{d_0}, \quad \bar{Y} = \frac{Y}{d_0} \quad \text{Sont les coordonnées relatives du filet}$$

L'angle de la sortie du filet : φ_0

$$\text{Le nombre de Reynolds à la sortie : } R_e = \frac{V_0 d_0}{\nu_0}$$

$$\text{Le rapport des pressions cinétiques : } m^2 = \frac{\rho_\infty V_0^2}{\rho_0 V_0^2}$$

$$\text{Le nombre de Richardson : } R_i = g \frac{d_0}{V_0^2} \cdot \frac{\rho_\infty - \rho_0}{\rho_0}$$

$$\text{Le paramètre de stratification : } \bar{\sigma} = \frac{d_0}{\rho_\infty - \rho_0} \cdot \frac{\partial \rho_\infty}{\partial y}$$

Maintenant nous aurons :

$$n_i = F_1(\bar{X}; \bar{Y}; \varphi_0; R_e; m^2; R_i; \bar{\sigma}) \quad (3-2)$$

Comme on peut aussi déterminer la dilution initiale à partir du bilan de la masse des substances polluantes pour le cas du mouvement permanent du filet.

Ce bilan pour n'importe quelle section sera :

$$\int_w (C - C_e)(\mu - V_e) dW = \text{constante} \quad (3-3)$$

Où μ = La vitesse du point considérée.

V_e = La vitesse de la section mouillée.

La solution de cette intégrale est la suivante pour la section du rejet :

$$(C - C_e)(V_o - V_e)\pi r_o^2 = \text{constante} \quad (3-4)$$

Où r_o = Le rayon du flux à la sortie.

En examinant les concentrations moyennes en excès dans n'importe quelle section qui se trouve à la distance « s » du point initial des distances des coordonnées, l'expression (3-4) devient :

$$2\pi(C_{moy} - C_e) \int_0^{r_{lim}} (\mu - V_e)r dr = (C_f - C_e)(V_o - V_e)\pi r_o^2 \quad (3-5)$$

Où r_{lim} = le rayon limitant la surface du filet.

Cette équation (3-5) nous donne :

$$\frac{C_f - C_e}{C_{moy} - C_e} = 2 \int_0^{r_{lim}} \frac{(\mu - V_e)r dr}{(V_o - V)r_o^2} \quad (3-6)$$

Dans la partie gauche de l'équation obtenue qui est à étudier nous avons le rapport des concentrations en excès par la concentration initiale et cette partie représente la dilution initiale.

La partie droite est le rapport du débit en excès des filets sur le débit initiale de l'exutoire.

Pour intégrer l'équation (3-6), il faut avoir l'influence de la distance « r » de l'axe du filet et sur sa vitesse en excès. Le plus souvent ce changement de vitesse est présenté par la formule de :

$$\frac{\mu - V_e}{\mu_a - V_e} = \left[1 - \left[\frac{r}{r_{moy}} \right]^{1.5} \right]^2 \quad (3-7)$$

Où μ_a = la vitesse sur l'axe du filet.

En remplaçant la valeur de la vitesse en excès de l'expression (3-7) dans l'expression (3-6) et en intégrant, nous avons :

$$n_i = 0.258 \frac{\mu_a - V_e}{V_o - V_e} \left[\frac{r_{moy}}{r_o} \right]^2 \quad (3-8)$$

Où bien

$$n_i = 0.258 \overline{\Delta \mu_a} \bar{d}^2 \quad (3-9)$$

La formule (3-9) présente la loi générale de la dilution initiale de n'importe quel exutoire. Mais, l'application de cette loi demande dans chaque cas concret à déterminer, le changement des vitesses maximales en excès et le diamètre des paramètres principaux qui ont été fixés dans l'expression (3-1).

L'élargissement du filet est présenté par l'expression linéaire qui correspond bien avec le calcul théorique et les mesures expérimentales.

$$\bar{d} = a \bar{S} + 1 \quad (3-10)$$

$\bar{S} = S/d_o$: Coefficient empirique qui dépend de l'angle de l'élargissement du filet (Voir fig. (3-1)).

Dans les conditions ordinaire, la valeur « **a** » est égale à 0,48 et reste toujours constant, cela est valable pour les conditions des rejets immergés.

La supposition prise dans (3-10), n'est juste que pour les conditions suivantes (2,14).

$$1 \geq \Delta \mu_a \geq 0.1 \text{ et } 0 \leq m \leq 0.25$$

Dans ce cas l'approximation possible de notre équation (3-10) sera :

$$\bar{d} = 0.48 \bar{S}(1 - 3.12 m) + 1 \quad (3-11)$$

Pour des valeurs de S plus grandes on peut négliger la valeur 1 dans les équations (3-10) et (3-11).

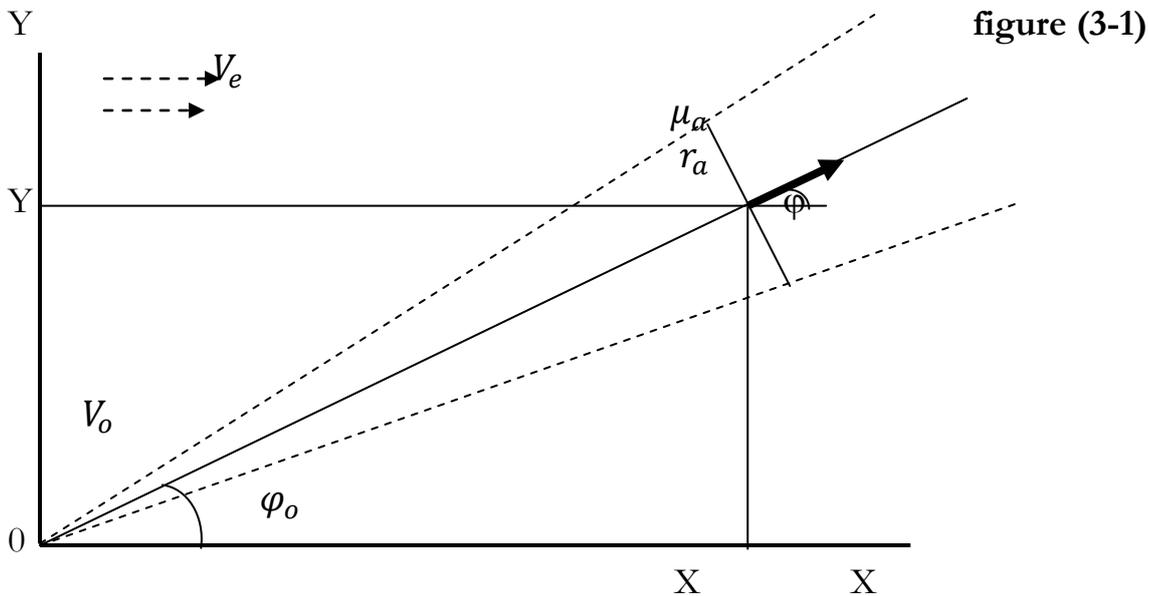
Pour obtenir l'équation de la trajectoire du filet (fig. 3-1) on suppose que :

- 1- le mouvement du filet se passe dans le flux avec le champ continue des vitesses.
- 2- La densité du liquide dans le milieu est constante.

- 3- Les champs des vitesses, des densités et des substances polluantes ont la même affinité dans le filet.
- 4- Le rayon de la surface limite du filet change linéairement en fonction de la longueur du filet.
- 5- La vitesse axiale du filet et ses composantes se déterminent par les formules : (2).

$$\overline{\mu}_o = \frac{a_1}{3} \left[\begin{array}{l} \overline{\mu}_{ax} = a_1 \frac{\cos^2 \varphi_o}{\bar{X}} \\ \overline{\mu}_{ay} = a_1 \frac{\sin^2 \varphi_o}{\bar{Y}} \end{array} \right]$$

Schéma du mouvement d'un filet dans un flux



V_o = Vitesse initiale du filet

V_e = Vitesse de l'exutoire

φ_o = L'angle à la sortie du filet

μ_a = Vitesse sur l'axe du filet

r_a = Rayon du filet

φ = Coefficient qui détermine le rapport entre les longueurs données.

x, y = Coordonnées relatives du filet

Les équations de la qualité du mouvement de la masse secondaire du filet sont :

$$K_s \frac{dx}{ds} - K_o \cos \varphi_o = F_x$$

$$K_s \frac{dy}{ds} - K_o \sin \varphi_o = F_y \quad (3-12)$$

K_s, K_o = La quantité du mouvement de la masse secondaire du filet dans n'importe quelle section initiale.

F_x = La force de la pression dynamique du flux sur le filer qui se détermine par l'expression (3-13).

$$F_x = y r_{moy} \rho_\infty \frac{V_e^2}{2} \quad (3-13)$$

Où F_y = La force d'Archimède qui est égale

$$F_y = 2\pi g \int_0^s \int_0^{r_{moy}} (\rho - \rho_\infty) r dr ds \quad (3-14)$$

Pour trouver le système de l'équation (3-12), il faut composer l'équation de la continuité de la densité en excès.

$$(\rho_0 - \rho_\infty) V_0 \pi \frac{d_0^2}{4} = 2\pi \int_0^{r_{moy}} (\rho - \rho_\infty) \mu r dr \quad (3-15)$$

Pour les équations (3-12), (3-13), (3-14), on peut obtenir l'équation différentielle de trajectoire relative de l'axe du filet.

$$\frac{d\bar{x}}{d\bar{y}} = \frac{\cos \varphi_o + A_1 m^2 \bar{Y} \bar{S}}{\sin \varphi_o + A_2 R_1 \bar{X}^2 / \cos^2 \varphi_o} \quad (3-16)$$

En intégrant cette équation par la suite de Taylor, on peut présenter la solution de l'équation (3-16) comme la somme des valeurs (17).

$$\bar{Y} = \bar{X} \tan + \frac{2}{\cos^2 \varphi_o} - \left[\frac{A_2 R_1}{\cos^2 \varphi_o} - A_1 m^2 \tan^2 \varphi_o \right] \frac{\bar{X}^3}{3!} + \frac{8 A_1 m^2 \tan^2 \varphi_o}{\cos \varphi_o}$$

$$\left(A_1 m^2 \tan^2 \varphi_o - \frac{A_2 R_1}{\cos \varphi_o} \right) (4 + 5 \tan^2 \varphi_o) \frac{\bar{X}^5}{5!} + \dots \quad (3-17)$$

La vérification expérimentale de l'expression (3-17) permet de trouver les valeurs constantes des coefficients.

$$A_1 = 0,465 \quad \text{et} \quad A_2 = 0,0948$$

Pour les conditions, nous avons les équations suivantes :

- L'élargissement du filet dans le milieu homogène stagnant.

$$\bar{Y} = \bar{X} \tan \varphi_0 \quad (3-18)$$

- L'élargissement du filet dans le milieu hétérogène stagnant (avec la même direction).

$$\bar{Y} = \bar{X} \tan \varphi_0 + 0.0316 R_i \bar{X}^3 / \cos^3 \varphi_0 \quad (3-19)$$

- L'élargissement du filet dans un milieu homogène en mouvement.

$$\bar{X} = \bar{Y} C \tan \varphi_0 + 0.155 m^2 \bar{y}^3 / \sin^2 \varphi_0 \quad (3-20)$$

On peut remarquer que la stratification habituelle de la densité dans l'exutoire n'influe pas considérablement sur la trajectoire du filet sauf dans le cas de l'immersion, la longueur de la courbe du filet se déduit de l'équation :

$$\bar{S} = \int_0^{\bar{x}} \sqrt{1 + \left[\frac{d\bar{y}}{d\bar{x}} \right]^2} dx \quad (3-21)$$

Qui sera présentée pour l'élargissement du filet dans le milieu homogène stagnant par :

$$\bar{S} = \frac{\bar{x}}{\cos \varphi_0} \quad (3-22)$$

La longueur approximative se détermine comme :

$$\bar{S} = \sqrt{\bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \quad (3-23)$$

Pour plus de précision la longueur sera :

$$\bar{S} = \sum_1^i \sqrt{(\bar{X}_i + \bar{X}_{i-1})^2 + (\bar{Y}_i + \bar{Y}_{i-1})^2} \quad (3-24)$$

La vitesse sur l'axe du filet qui est présentée par l'équation (3-11) peut être transformée pour les cas particuliers : (2,14).

- a) - L'élargissement du filet pour le milieu homogène stagnant :

$$\Delta \bar{\mu}_a = 6.8 \sqrt{\bar{S}} \quad (3-25)$$

- b) - L'élargissement du filet pour le milieu hétérogène stagnant :

$$\Delta \bar{\mu}_a = \frac{0.96}{1-m} \left[\sqrt{m^2 + 8.1(1-m)/d^2} - m \right] \quad (3-26)$$

c) - L'élargissement du filet pour le milieu hétérogène en mouvement :

$$\Delta \bar{\mu}_a = \frac{3.7}{\bar{s}} \quad (3-27)$$

Les eaux usées qui ont la densité inférieure à celle du milieu du récepteur, forment le filet qui monte à la surface sous l'action de la poussée d'Archimède. Dans ce cas, il se passe en premier lieu la dilution par les eaux les plus denses et au fur et à mesure qu'on monte la densité diminue (voir fig. 3-2).

Les changements de la densité sont caractérisés par l'expression :

$$\rho_\infty(y) = \rho_i - \int_0^y (\partial \rho_\infty / \partial y) dy \quad (3-28)$$

Où ρ_i = La densité des couches au fond.

Pour les calculs pratiques, on peut simplifier cette équation en utilisant l'approximation linéaire.

$$\rho_\infty(y) = \rho_i - \sigma y \quad (3-29)$$

La trajectoire du filet dans ce cas est déterminée par l'équation (18) :

$$\bar{y} = 0,0948 R_i (\bar{x}^3 / \cos^3 \varphi_0) F_1(T\bar{x}^2) + \bar{x} \operatorname{tg} \varphi_0 F_2(T\bar{x}^2)$$

Où

$$\diamond F_1(T\bar{x}^2) = \frac{1}{3} - \frac{(T\bar{x}^2)^2}{3!7} + \dots + \frac{(-1)^n (T\bar{x}^2)^{2n}}{(2n+1)!(4n+3)}$$

$$\diamond F_2(T\bar{x}^2) = 1 - \frac{(T\bar{x}^2)^2}{2!5} + \dots + \frac{(-1)^n (T\bar{x}^2)^{2n}}{2n!(4n+1)!}$$

$$\diamond T = \frac{0,481}{\cos^2 \varphi_0} \sqrt{R_i \bar{\sigma}} \quad (3-30)$$

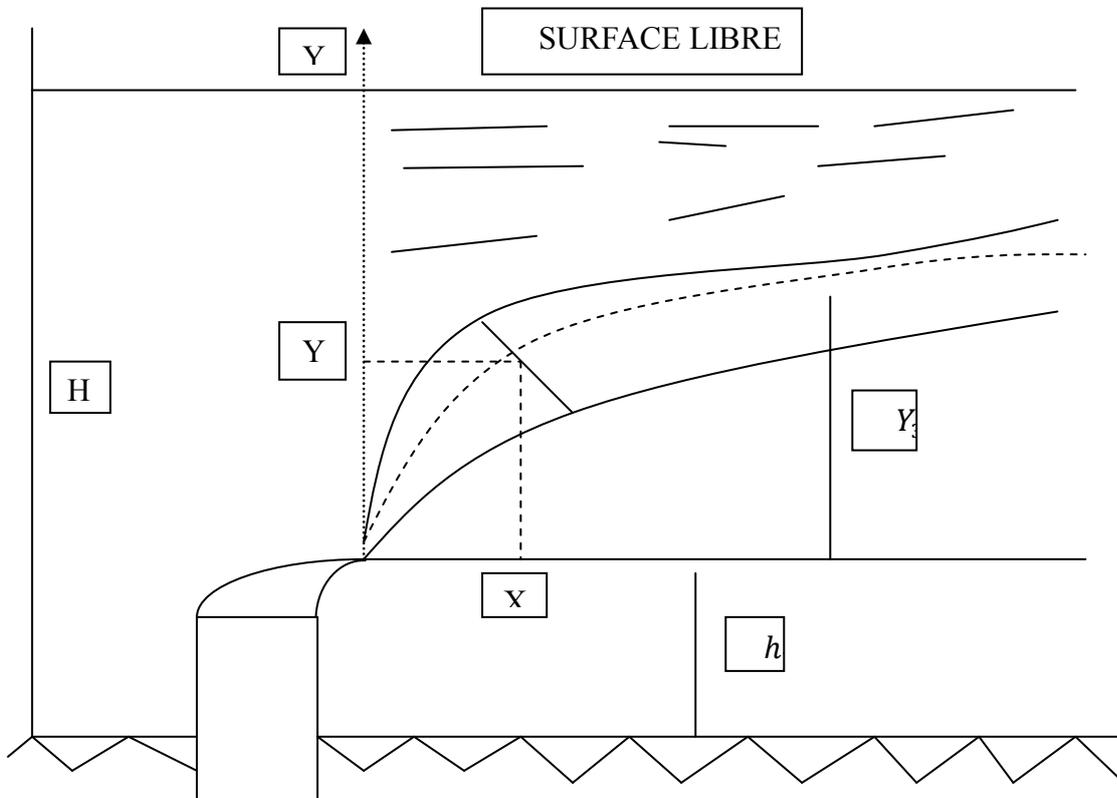
$$\diamond \bar{\sigma} = \sigma d_0 (\rho_\infty - \rho_0) \dots \dots \dots \rightarrow \text{Paramètres de stratification.}$$

La hauteur relative de l'immersion se trouve dans les conditions où la 1^{ère} dérivée de l'équation (3-30) est égale à zéro.

Schéma de l'immersion d'un filet dans le milieu stratifié

(Figure 3-2)

d



d_0 = diamètre du filet

h_1 = Le niveau de la sortie du filet par rapport au fond de l'exutoire

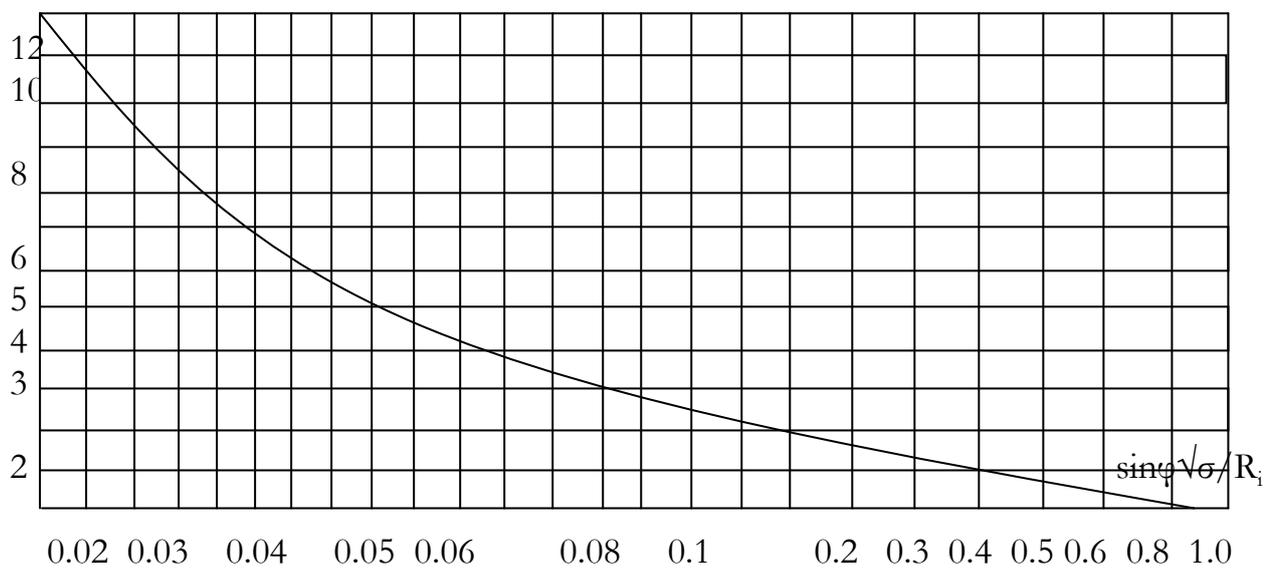
Y_3 = La hauteur de l'immersion

H = La profondeur moyenne de l'exutoire

L'ABAQUE AUXILIAIRE POUR DETERMINER LA PROFONDEUR DE L'IMMERSION DU FILET

Figure (3-3)

$$Y_3(R_i \sigma)^{1/4} / \sin \varphi_0$$



$$\bar{y}_3 = \frac{\sin \varphi_0 \sqrt{A}}{0.695(R_i \bar{\sigma})^{1/4}} \left[\frac{A}{5.15 \sin \varphi_0 (\bar{\sigma}/R_i)} F_1(A) + F_2(A) \right] \quad (3-31)$$

Sur la figure (3-3) est présenté un graphique de calcul de l'immersion du filet.

Selon cette figure, il faut d'abord calculer la valeur

$$\sin \varphi_0 (\sqrt{\bar{\sigma}/R_i})$$

Et ensuite trouver par le graphique

$$\bar{y}_3 \frac{(R_i \bar{\sigma})^{1/4}}{\sin \varphi_0}$$

D'où on peut calculer simplement y_3 pour les conditions initiales connues du rejet dans l'exutoire.

Quant la valeur $\varphi_0 = 0$ (rejet horizontal) l'équation (3-31) est beaucoup plus simple.

$$\bar{Y}_3 = 0.252(R_i/\bar{\sigma}^3)^{1/4} \quad (3-32)$$

Dans les cas particuliers du rejet horizontal, ou un peu incliné, le filet peut toucher le fond ce qui provoque une fouille au fond et par conséquent la diminution de l'efficacité de la dilution des eaux rejetées. On peut éviter ces dégagements en montant un peu le rejet par rapport au fond.

Naturellement, la valeur de cette augmentation doit être plus grande que la cavité maximale de la frontière basse du filer (voir fig.3-4).

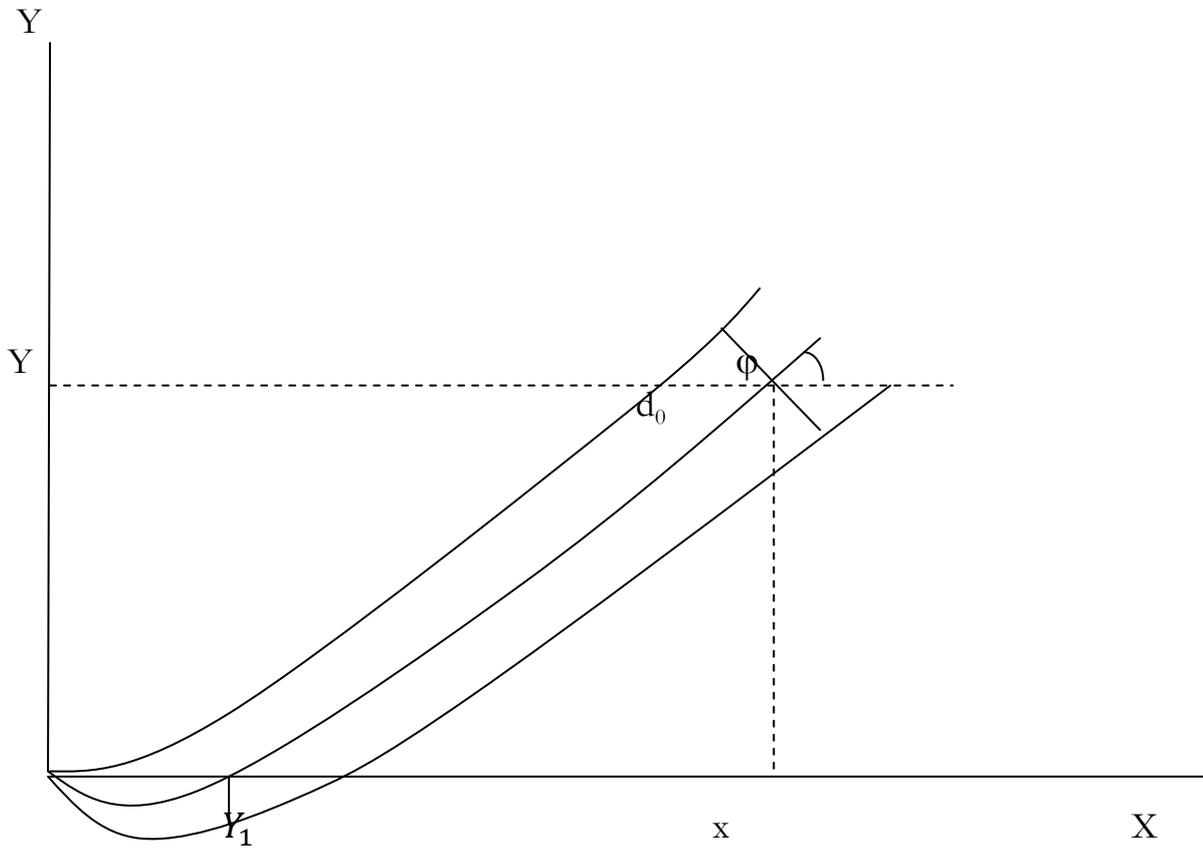
La valeur de cette cavité se détermine de l'équation de l'axe du filer en utilisant la loi de l'élargissement du filet.

Pour $R_i > 0$ cette expression est la suivante :

$$\bar{y}_3 = -(2.16/\sqrt{R_i})(0.24 - \text{tg } \varphi_0)^{3/2} \cos^{3/2} \varphi_0 \quad (3-33)$$

Le schéma de fléchissement de la limite du filet

Figure (3-4)



Y_1 = la hauteur de la limite inférieure du filet par rapport au niveau de la sortie du filet.

Nous voyons bien que lorsque l'angle φ_0 et le nombre de Richardson sont plus grands, la hauteur d'augmentation est plus petite et enfin lorsque $\varphi_0 > \text{Arc tg } 0.24$ ou bien $\varphi_0 \geq 13,5$ le filet ne touchera pas le fond.

Pour les cas où la densité des eaux à rejeter est supérieure à celle du récipient et l'angle $\varphi_0 > 0$, le mouvement du filer aura la trajectoire qui monte d'abord et puis redescend (voir fig.3-5).

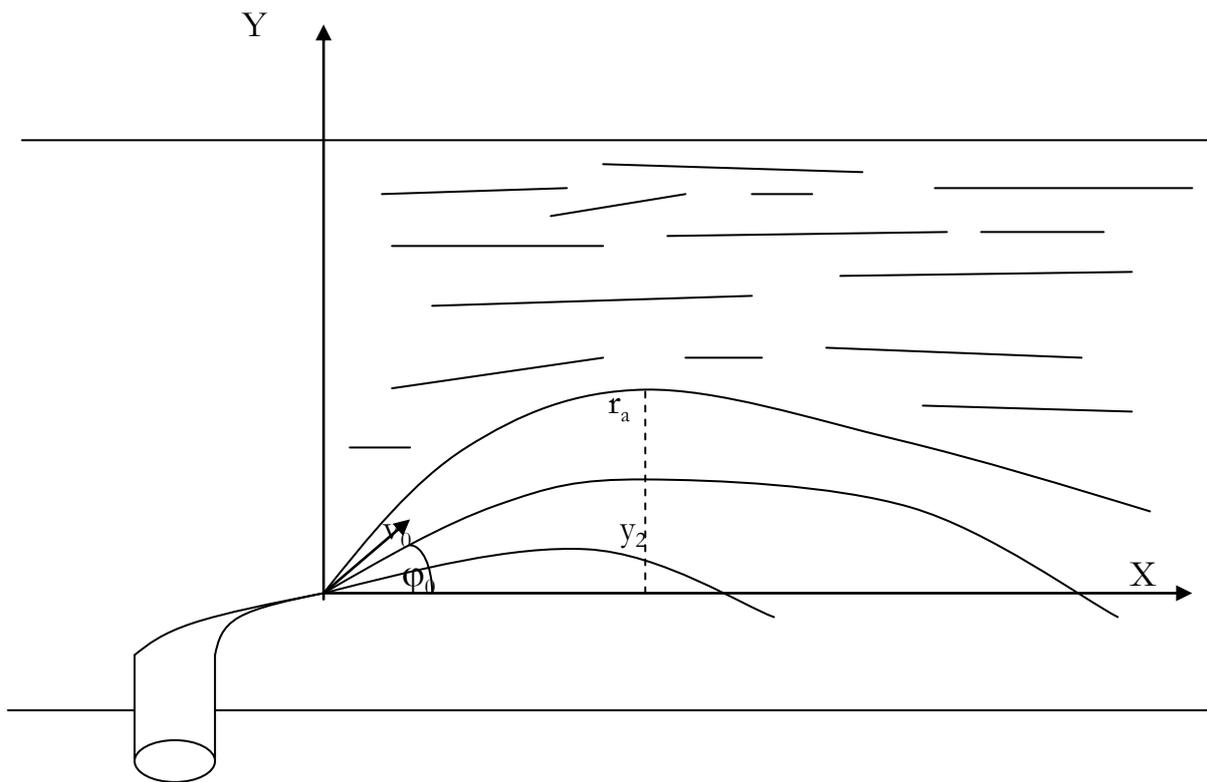
Naturellement, nous pouvons organiser le rejet de telle façon à avoir le filet complètement immergé et cela en dérivant **(3-19)** et en égalisant cette dernière à zéro nous obtiendrons :

$$\bar{Y}_2 = 2.18\sqrt{\sin^3 \varphi_0 (-R_i)} \quad \text{(3-34)}$$

La hauteur minimale possible du placement du rejet sera égale à la somme de cette valeur \bar{y}_2 et la moitié du diamètre relatif dans la section à considérer.

Le schéma du renflouement du filet

Figure (3-5)



$Y_2 =$ La hauteur du renflouement du filet par rapport du niveau de sa sortie.

3.4- Conformité à la loi de la dilution principale:

Dans le flux turbulent se passe la diffusion de deux types (2-7)

- Par convection
- Par gradient dont le transport des polluants par la surface unitaire d'effectue selon l'équation (14,18).

$$T_c = -DgradC \quad (3-35)$$

Le signe '-' montre que le transport des pollutions se passe dans la direction ou la concentration diminue.

Dans cette équation \rightarrow D est la valeur qui s'appelle le coefficient de la diffusion turbulente.

La diffusion par convection détermine le transport de la pollution par la surface unitaire avec le flux qui coule :

$$T_\mu = \mu c \quad (3-36)$$

Examinons le flux des substances, pour une surface choisie immobile, fermée quant il n'existe pas des sources et des pertes de substance, au-dedans du volume qui est limité par cette surface.

En utilisant l'équation de la conservation de masse, nous obtiendrons l'équation suivante :

$$\int_F \mu C dF + \int_F (-DgradC) dF + \frac{\partial C}{\partial t} \int_v C dv = 0$$

$$Grad \longrightarrow \text{gradient} \quad (3-37)$$

Où le premier terme présente le transport par convection et le second le transport par gradient.

En changeant dans cette équation les intégrales superficielles par celles volumiques et en concordant avec le théorème de OSTROGRASKI-GAUSS nous aurons :

$$\int_v div (\mu C - DgradC) dV + \int_v \frac{\partial C}{\partial t} dV = 0$$

$$div \longrightarrow \text{divergence} \quad (3-38)$$

On peut simplifier cette équation, car son intégration est valable pour n'importe quel volume.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div } \mu C - \text{div}(D \text{grad} C) = 0 \quad (3-39)$$

Le second terme de l'équation (3-39) peut être présenté comme suit :

$$\text{div } \mu C = C \text{div } \mu + \mu \text{grad} C \quad (3-40)$$

Pour le liquide incompressible $\text{div} \mu = 0$, l'équation de la diffusion turbulente sera :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mu \text{grad} C = \text{div}(D \text{grad} C) \quad (3-41)$$

Et quant la turbulence est homogène et les composants du coefficient de cette diffusion sont constants, l'équation finale sera présentée par l'expression suivante :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} + \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} + \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (3-42)$$

L'équation obtenue permet de trouver le changement de la concentration d'une substance conservée (qui ne change pas avec le temps), sous l'action de plusieurs facteurs.

1. L'introduction irrégulière d'une substance est présentée par le 1^o terme de l'équation (3-42) du 1^o membre.
2. Le transport d'une substance par le courant existant est présenté par les trois termes qui suivent du 1^o membre de l'équation (3-42).
3. Le transport d'une substance pour l'action de la diffusion turbulente est présenté par le 2^o membre de l'équation (3-42).

Les résolutions de cette équation (3-42) est toujours difficile et demande plusieurs conditions initiales et limites qui sont mal déterminées. On utilise toujours quelques simplifications pour cette équation, sans aucun changement important du sens physique du processus.

Citons les limites principales pratiquement utilisées pour résoudre l'équation de la dilution.

- 1- L'introduction stationnaire d'une substance, dans notre cas on suppose que le débit des eaux usées rejetées est constant. Mathématiquement cette condition est présentée par deux équations :

$$Q_0 = \text{constante} \quad , \quad C_0 = \text{constante} \quad (3-43)$$

- 2- Le mouvement du flux de l'exutoire est stationnaire ou mobile. Cette supposition nous donne l'équation suivante :

$$\mu_y = 0 ; \mu_z = 0 ; \mu_x = V = \text{constance} \quad (3-44)$$

- 3- Dans la direction du mouvement d'eau dans l'exutoire, le transport par convection est plus important que celui par gradient. Mathématiquement cette supposition se présente sous la forme :

$$V \frac{\partial C}{\partial x} \gg D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{Où} \quad \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (3-45)$$

Cette supposition est basée sur les nombreuses études des composants des coefficients de la diffusion turbulente de la mer.

Le coefficient de la diffusion turbulente dans la direction verticale est très inférieur par rapport à la diffusion horizontale. Pour ce cas on peut écrire l'équation.

$$D_z = 0$$

Examinons maintenant les conditions limites nécessaires pour résoudre l'équation (3-42) :

-1- Conditions initiales :

La dilution principale commence à partir de l'endroit où le filet perd l'influence des forces d'inertie et où son mouvement se passe sous l'action des courants de l'exutoire. Pour les conditions de cet endroit ou cette section, la pollution est distribuée comme une tache quelconque.

En supposant que l'origine des coordonnées est mise au centre de cette tache, nous obtiendrons la condition initiale.

$$C/x = 0 = F(y, z) \quad (3-47)$$

-2- Conditions limites :

On peut présenter par ces conditions, le caractère des changements d'une substance sur les limites du flux et pour une distance infinie de l'endroit du rejet.

On trouve que les surfaces limites (le fond de l'exutoire, la surface libre d'eau, les rives...) sont imperméables pour une substance polluante. Par conséquent, le flux de cette substance à travers les surfaces à considérer est égal à zéro.

$$\frac{\partial C}{\partial n} / \text{surface} = 0 \quad (3-48)$$

L'autre condition limite donne la concentration moyenne d'une substance dans l'exutoire, après la dilution maximale possible. Cette valeur dépend du type de l'exutoire et se détermine par l'équation (2-8), (2-11).

Le problème le plus difficile est de déterminer la valeur du coefficient de la diffusion turbulente. D'habitude on utilise la valeur constante de ce coefficient pris pour la région à examiner.

Dans ce cas la résolution des équations sera plus simple et les moyens pratiques seront simplifiés.

3-5- Conclusion :

Nous concluons que l'étude du processus de la dilution des eaux usées dans l'exutoire, afin de déterminer le coefficient de la dilution, dépend de plusieurs facteurs :

- 1- Des différents types de rejet et de l'exutoire existant, qui diffèrent par leurs propriétés constructives, technologiques et leur particularités hydrologiques et hydrodynamique.
- 2- Des méthodes de calcul assez complexes qui exigent une certaine exactitude pour pouvoir déterminer 1°) la dilution initiale qui dépend de l'élargissement, la trajectoire, la longueur, la vitesse, la vitesse initiale, l'immersion, la cavité et la montée du filet et 2°) de la dilution principale qui dépend de deux types de diffusion, des conditions initiales et des conditions limites.

Vu la complexité des calculs qui se posent pour déterminer la valeur du coefficient de la diffusion turbulente, on se limitera à utiliser une valeur constante de ce coefficient prise pour une région donnée ou à examiner.

Cela va nous permettre de résoudre toutes les équations et les moyens pratiques utilisés seront plus simples à appliquer.

4- METHODE PRATIQUE DU CALCUL DE LA DILUTION

4-1- Généralités :

En présentant la base théorique du calcul de la dilution des eaux usées rejetées dans l'exutoire, nous avons développé plusieurs formules nécessaires, qui montrent les difficultés mathématiques et expérimentales du calcul de ce rejet, dit précis théoriquement. Naturellement, les mesures pratiques des valeurs incluses dans ces équations possèdent une précision qui dépend de plusieurs facteurs y compris.

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de calculer le rejet avec une précision dépassant celle de la mesure.

Pour le besoin pratique, on a élaboré quelques moyens de calcul des rejets qui sont conditionnés par les limites diverses d'exutoire à utiliser. C'est-à-dire, il faut distinguer les moyens qui sont applicables pour les rivières, les lacs, les retenues et pour les mers (2-11).

En utilisant un classement pour ces moyens et en se basant sur les recherches faites par les savants des divers pays, nous pouvons citer les moyens les plus efficaces pour chaque type d'exutoire (11).

4-1- La dilution dans la rivière :

4-2-1- Généralités :

En général, ce type de rejet est assez rare en Algérie. Mais, il faut l'étudier même dans des conditions spécifiques.

Actuellement, les méthodes existantes sont (2,3,4).

- 1- La méthode PHROLOF-RODSILLER
- 2- La méthode avec les rejets dispersés.
- 3- La méthode pour l'exutoire avec un courant relativement direct.
- 4- La méthode des éléments finis.
- 5- La méthode de calcul pour rivières méandres.

Ces méthodes peuvent être utilisées dans les cas suivants (12).

La méthode de PHROLOF-RODSILLER pour les rivières avec un débit relativement grand et quand il n'y a pas la nécessité d'examiner la construction du rejet mais, vérifier la possibilité de rejeter l'eau dans l'exutoire.

Pour intensifier la dilution des eaux usées dans la rivière, on peut construire les rejets à une vitesse plus grande pour assurer une turbulence d'introduction plus développée et par conséquent obtenir la dilution finale, on doit déterminer la dilution totale par la formule :

$$n = n_i * n_p$$

La dilution initiale se détermine par l'expression empirique :

$$n_i = \frac{0,248 \bar{d}^2}{1-m} \left(\sqrt{m^2 + 8,1 \left[\frac{1-m}{\bar{d}^2} \right]} - m \right)$$

\bar{d} = diamètre du filet après le rejet.

La dilution principale « n_p » se détermine par la méthode de PHROLOF-RODSILLER.

- Pour les cas de la rivière, les conditions sont analogues au premier sauf qu'il demande une connaissance approfondie de l'hydrologie de la rivière.
- Les méthodes « 3 » et « 4 » sont plus précises. La « 3 » est la plus appropriée pour les sections à considérer plus éloignées de l'endroit du rejet.
- La méthode « 2 » prend la position intermédiaire, car elle permet de déterminer la dilution pour la construction du rejet, mais elle ne donne pas la distribution de la concentration de la section à considérer puisqu'elle ne présente que la dilution du filet le plus pollué.

Pour notre cas, on va étudier la méthode de PHROLOF-RODSILLER.

4-2-2- Méthode PHROLOF-RODSILLER:

Cette méthode est basée sur la résolution de l'équation différentielle de la diffusion turbulente **(3-45)**, en supposant que le flux d'une rivière est fini. La dilution initiale n'existe pas et le rejet s'effectue dans un seul sens, la résolution de cette équation **(3-45)** dans les conditions d'une tache stationnaire et linéaire donne l'expression suivante de la concentration maximale possible dans le filet le plus pollué.

$$C_{max} = C + (C_0 + C) \exp(-\alpha \sqrt[3]{x}) \quad (4-1)$$

Où α = Coefficient qui dépend des conditions hydrauliques de la dilution.

Pour trouver ce coefficient, on a utilisé une approximation donnée par l'expression suivante :

$$\alpha = \xi \sqrt{D/Q_0} \quad (4-2)$$

Où - ξ = Coefficient qui tient compte de l'endroit du déplacement du rejet et qui est égal à 1,5 pour les autres cas.

- φ = Coefficient qui détermine le rapport entre les longueurs suivantes :

- L = La longueur d'un cours d'eau entre l'endroit du rejet et la section considérée.

-Ld = La longueur directe entre les mêmes points.

$$\varphi = \frac{L}{Ld} \quad (4-3)$$

-D = Coefficient de la diffusion turbulente.

On préfère l'utilisation de la formule (2-4) ou la valeur nécessaire est le coefficient de la dilution. Ce coefficient est égal.

$$\gamma = \frac{1 - \exp(-\alpha^3 \sqrt{L})}{1 + (Q_e/Q_0) \exp(-\alpha^3 \sqrt{L})} \quad (4-4)$$

Le coefficient de la diffusion turbulente se détermine par la formule de « KARAOUCHEV » (2,4).

$$D = g \frac{H V_x}{M C_s} \quad (4-5)$$

Où par la formule de « MAKKAVEEV » (7).

$$D = g \frac{H V_e}{2m_b c_s} \quad (4-6)$$

Dans ces formules les valeurs sont les suivantes :

-H = La profondeur de l'exutoire.

- C_s = Le coefficient de CHESY.

- m_b = Coefficient de BOUSSINESQ=22,3 pour l'eau.

En utilisant cette méthode on peut déterminer la dilution obtenue pour le filet le plus pollué d'une rivière.

4-3- La dilution dans les lacs et les retenues:

4-3-1- Généralités :

Les conditions de la dilution des eaux rejetées dans ces exutoires, se distinguent beaucoup dans les rivières (4,8).

- 1- L'influence assez faible de la vitesse des eaux dans les lacs et les retenues.
- 2- L'influence provoquée par le vent qui peut être dans n'importe quelle direction.

Pour trouver la dilution obtenue dans ces cas particuliers, on propose deux méthodes dont la précision est presque la même: les méthodes « ROUFFEL » et de « LAPSCHEV ».

4-3-2 Méthode de « LAPSCHEV » :

Cette méthode est utilisée pour les rejets dont la vitesse d'eau rejetée est supérieure à 2 m/s. Le rejet se trouve à une distance quelconque du bord de l'exutoire et sur une profondeur qui dépasse au moins 30 fois le diamètre du rejet. La dilution se détermine par la formule suivante :

$$n = A \left[\frac{0,2 L}{d_0} \right]^{ps} \quad (4-7)$$

Où A= paramètre qui tient compte de la construction du rejet, pour le rejet dans un seul endroit (seul point) A=1, pour l'autre cas.

$$A = 0,74 (L/L_1 + 2,1)^{-0,4} \quad (4-8)$$

P= paramètre qui dépend de la vitesse de l'eau dans l'exutoire et du débit des eaux usées.

$$P = \frac{L_b W_0}{0,000015 \beta_b W_0 + L_b W_0} \quad (4-9)$$

S= paramètre de la profondeur de l'exutoire

$$S = 0.875 + \frac{0.325 H}{360 + (V_e/V_0) 10^5} \quad (4-10)$$

L_1 =La distance entre deux rejets voisins placés sur un même distributeur.

L=la longueur d'un cours d'eau entre l'endroit du rejet et la section considérée.

L_b =la longueur d'exutoire du rejet dans la direction du courant permanent d'eau.

β_d = Période de changement complet d'eau de l'exutoire.

W_0 = le volume annuel des eaux rejetées.

w_0 = la surface sommaire des trous du rejet du même distributeur.

Dans le cas où la vitesse de l'eau d'exutoire est provoquée par le vent, le paramètre p se détermine par l'expression plus simple.

$$P = \frac{V_e}{0.000015V_0 + V_e} \quad (4-11)$$

4-4 La dilution dans les mers :

4-4-1 Généralités :

L'idée d'étudier le rejet des eaux usées dans la mer est récente. Depuis toujours, les rejets sont construits sans étude sérieuse au préalable. Les eaux usées sont rejetées sans contrôle au bord de la mer ou pas loin.

Cette insouciance, nous le payons chèrement de nos jours. Les eaux côtières de la mer à travers le monde sont partout polluées.

Nous vous proposons d'étudier les rejets des eaux usées dans la mer éloignées de la cote.

L'étude théorique des conditions du rejet nous montre (2,9) que les paramètres essentiels des eaux rejetées sont :

- Le nombre de RICHARDSON $R_1 > 0$ quand $\rho_0 < \rho_\infty$
- Le nombre de RICHARDSON $R_1 < 0$ quand $\rho_0 > \rho_\infty$
- Le nombre de RICHARDSON $R_1 = 0$ quand $\rho_0 = \rho_\infty$

4-4-2 La dilution initiale pour l'eau légère ($\rho_0 < \rho_\infty$)

Quand la densité du rejet est inférieure à celle de milieu, les forces d'Archimède influent considérablement sur le mouvement du filet en le faisant monter vers la surface. La loi de l'élargissement du filet et sa trajectoire se déterminent par (3-10), (3-19) et la vitesse du filet par (3-27).

Ces conformités nous permettent de trouver la dilution initiale qui dépend de la longueur du filet et des coordonnées de son axe.

La longueur approximative du filet est prise par l'équation (3-23). Prenons une nouvelle variable $tg\psi = y/x$ qui présente la tangente de l'angle d'inclinaison d'un vecteur qui lie l'origine des coordonnées avec le point à considérer sur l'axe du filet, cette variable se détermine par l'équation d'une trajectoire du filet :

$$tg\psi = tg\varphi_0 = 0,316 R_i \bar{x}^2 / \cos \varphi_0^3 \quad (4-12)$$

Pour ces conditions, la dilution initiale sera :

$$n_i = \frac{0.86 \cos \varphi_0^{2,5}}{\sqrt{R_i}} (1 + tg\psi^2) \sqrt{(tg\psi - tg\varphi_0)[1 + (3tg\psi - 2tg\varphi_0)^2]} \quad (4-13)$$

Dans cette formule, il y a une seule variable 'tgψ' dont la détermination demande de connaître les coordonnées du filet déterminées par l'équation (3-19).

La dilution initiale se détermine dans les sections où le filet atteindra la surface d'eau ou la profondeur limite sur laquelle on aura un élargissement continue.

Dans le premier cas, l'axe de la section calculée se trouve sur la hauteur relative \bar{y}_1 , qui dépend de la profondeur relative du rejet $\bar{H}_1 = \bar{H} + \bar{y}_1$ et de l'angle du rejet.

La valeur $\bar{H} = H/d_0$ c'est la profondeur relative de la mer dans l'endroit du rejet, et $\bar{y}_1 = \frac{y_1}{d_0}$ la hauteur relative du rejet qui ne doit pas être inférieur à la valeur limite qui se détermine par l'équation (3-33).

Pour l'autre cas, la section calculée est placée sur la hauteur \bar{y}_3 qui se détermine par les équations (3-31), (3-32) durant le calcul, il y a lieu de comparer les deux valeurs \bar{y}_1 et \bar{y}_3 .

Si $\bar{y}_1 < \bar{y}_3$ Le filet n'est pas immergé et la hauteur calculée sera \bar{y}_1 . Dans le cas inverse, on prend \bar{y}_3 .

Pour la détermination du paramètre $tg\psi$, nous devons connaître la dernière dérivée de l'abscisse se qui sera prise par l'abaque auxiliaire présenté sur la (fig. 4-1).

Cet abaque n'est applicable que pour $\varphi_0 \neq 0$ quand la valeur

$$tg\psi = \sqrt[3]{0,0316R_i \bar{y}^2} \quad (4-14)$$

Nous pouvons fixer un ordre de calcul pour déterminer la dilution initiale :

1. Déterminer le diamètre d_0 et la vitesse V_0 du rejet pour les conditions $V_0 = 2$ à 5 m/s.
2. Trouver que les limites de $0 \rightarrow 13,5$ sont optimales, en fixant l'angle d'inclinaison du rejet.
3. Déterminer les valeurs $R_1, \sigma, \bar{Y}_1, H$ connaissant la profondeur de la mer à l'endroit du rejet.
4. Déterminer les profondeurs relatives \bar{Y}_1 et \bar{Y}_3 pour avoir la profondeur calculée de la dilution initiale.
5. Trouver la valeur $tg\psi$ et déterminer la dilution initiale par la formule (4-13).

4-4-3 La dilution initiale pour les conditions ordinaires ($\rho_0 = \rho_\infty$)

Dans ces conditions, le filet a sa trajectoire linéaire, en utilisant les conformités générales à la loi de la dilution initiale présentées par les formules (3-9),(3-10),(3-22),(3-25) nous obtiendrons la formules suivante :

$$n_i = 0,405\bar{x} / \cos \varphi_0 \quad (4-15)$$

La dilution se termine dans la section où le filet atteindra la surface d'eau ou bien s'élargie jusqu'au diamètre qui est égale à toute la profondeur de l'exutoire.

La distance relative \bar{x} à cette section se détermine par l'expression :

$$\bar{x} = \frac{(\bar{H} - \bar{y}_1) \cos \varphi_0}{\text{tg} \varphi_0 + 0,24} \quad (4-16)$$

Où $\bar{H} = H/d_0$ = la profondeur relative de la mer dans l'endroit du rejet.

$\bar{y}_1 = \frac{y_1}{d_0}$ = la hauteur relative du rejet par rapport au fond de l'exutoire.

Pour les distances assez grandes ($\bar{x} \geq 80 \text{ m}$), il existe les pertes d'énergie qui diminuent la capacité du filet de cette dilution. Pour ces distances assez grandes, le taux de la dilution initiale se détermine par l'équation suivante.

$$n_{id} = n_i \exp(-0,001\bar{x}) \quad (4-17)$$

Où n_{id} = Dilution initiale tenant compte de la dissipation de l'énergie du filet.

La formule (4-16) montre l'influence de la distance x sur l'angle du rejet. Les grands angles peuvent donner la diminution de la dilution initiale, et les angles recommandés sont compris $13,5^\circ < \varphi_0 < 30^\circ$.

Pour calculer la dilution initiale, il faut fixer préalablement le diamètre du rejet, la vitesse et l'angle. Puis, en déterminant la distance relative de la section considérée, on obtiendra la dilution initiale par la formule (4-16).

Cette méthode de calcul est applicable aussi pour la dilution des eaux usées dans les lacs et les retenues.

4-4-4 La dilution initiale pour l'eau lourde ($\varphi_0 > \varphi_\infty$):

Pour ces conditions, la dilution maximale initiale sera pour le rejet dont l'angle est proche de 45° , d'après l'équation (3-9), (3-10) et (3-27), cette dilution est égale :

$$n_i = 0.225\bar{S} \quad (4-18)$$

La longueur du filet déterminé (3-24), par le moyen d'approximation successive nous prenons la valeur \bar{x}_i avec le pas assez petit et par la formule (3-19) on fait le calcul des valeurs \bar{y}_i .

La valeur \bar{x} correspond à la section où l'axe du filet atteint le fond de l'exutoire, mais il faut garder les conditions d'immersion constantes du filet.

Le calcul de la dilution initiale dans le cas des filets lourds commence par la fixation du diamètre d_0 et la vitesse V_0 du rejet.

Après cela, il faut adopter l'angle du rejet d_0 et sa hauteur par rapport à y_1 . A partir de ces valeurs initiales, on détermine le paramètre R_i et par approximation successive on trouve \bar{y}_i et S_i jusqu'au point où \bar{y}_i sera égale à $\bar{y}_i = y_1/d_0$ par l'expression (3-24) il faut trouver \bar{y}_2 et déterminer le diamètre du filet dans la section par la formule (3-10) en gardant les conditions du filet immergé :

$$\bar{H} > \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{d}/2 \quad (4-19)$$

Après toutes ces étapes, on calculera la dilution initiale par la formule (4-18).

4-4-5 La dilution principale :

Pour déterminer la dilution principale des eaux usées dans la mer, il faudra résoudre l'équation différentielle de la diffusion turbulente (3-42) vu sa résolution qui est très compliquée, il faudra la simplifier par quelques suppositions qui n'influent pas sur la précision des résultats obtenus.

On supposera que le mouvement est stationnaire, les vitesses normales du courant d'eau par rapport à sa direction générale sont petites, la dilution dans la direction principale s'effectuera en général par convection, le coefficient de la dilution dans la direction verticale est très inférieur à celui dans la direction horizontale et que les substances à considérer ne se transforment pas au cours de la dilution.

Après toutes ses suppositions, l'équation (3-42) sera :

$$V \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (4-20)$$

La résolution générale de cette équation par rapport à la concentration d'une pollution dans n'importe quel point est la suivante :

$$C_{x,y} = \frac{C_m}{2\sqrt{\pi Dx/V}} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\xi) \exp\left[-\frac{(y-\xi^2)}{4Dx/V}\right] d\xi. \quad (4-21)$$

Où C_m = la concentration initiale maximale d'une pollution dans le centre de la section initiale.

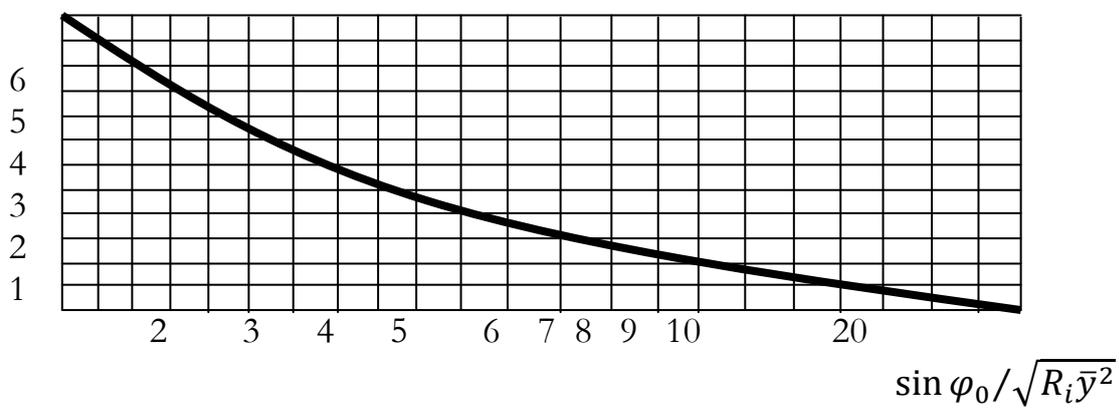
$F(\xi)$ = La fonction de la distribution initiale des concentrations dans la section.

On peut trouver les valeurs pratiques de l'équation **(4-21)** si l'on connaît la distribution des concentrations dans la section initiale qui est présentée par le système des taches des eaux polluées.

L'ABAQUE AUXILIERE V POUR DETERMINER LE PARAMETRE $\tan\Psi$:

(4-1)

$\tan \psi / \tan \varphi_0$



Pour le rejet unique, nous n'aurons qu'une seule tache. En désignant la demi-largeur de cette tache par $B_t=d/2$, nous pouvons présenter la fonction de la distribution initiale des concentrations d'une pollution pour une seule tache placée dans l'origine des coordonnées par (2-18).

$$F(y) = \begin{cases} C_m(1 - y/B_t) & \text{--- --> } 0 \leq y \leq +B_t \\ C_m(1 + y/B_t) & \text{--- --> } 0 \leq y \leq -B_t \\ 0 & \text{--- --> } -B_t > y > +B_t \end{cases} \quad (4-22)$$

La résolution de l'équation (4-21) pour les conditions (4-22) donne la fonction générale du type suivant :

$$\frac{c}{c_m} = F\left[\frac{y}{B_t}; \frac{b}{2B_t}; N; \frac{B_t}{2\sqrt{Dx/V}}\right] \quad (4-23)$$

b = La distance entre les taches voisines pour le rejets en série.

N = Le nombre des rejets en série.

La distribution des concentrations pour les rejets en série, est caractérisée par la même fonction (4-22) sauf que les coordonnées des centres des taches et leurs limites changent.

La fonction (4-23) doit être résolue pour le cas de la dilution minimale possible obtenue pour cela, on a utilisé le programme informatique dont le calcul est assuré pour les conditions ($y=0, b=0$) fonction du type :

$$\frac{c}{c_m} = F\left[N; \frac{B_t}{2\sqrt{Dx/V}}\right] \quad (4-24)$$

Est résolue par l'ordinateur et présentée dans abaque dont l'analyse nous permet de présenter chaque courbe par l'équation.

$$\frac{c}{c_m} = 0,55N\eta \quad (4-25)$$

En utilisant de l'équation (4-24) et tenant compte de la dilution principale qui est la réduction des concentrations des pollutions par l'expression :

$$n_p = \frac{c_m}{c} \quad (4-26)$$

Nous obtiendrons par approximation, la formule de la dilution par diffusion des eaux usées dans la mer :

$$n_p = \frac{3,64}{NB_t} \sqrt{D_x/V_e} \quad (4-27)$$

La comparaison des valeurs calculées par cette formule et celle obtenue d'après l'abaque, nous montre que la différence ne dépasse pas 1,5% pour $n_p \geq 3$. Pour les cas $n_p < 3$ qui sont assez rares, il faut faire le calcul par l'équation générale.

La dimension d'une tache initiale des eaux rejetées égale à 1/2 du diamètre du filet, dans la section où la dilution initiale se détermine. En tenant compte du rapport des densités des eaux usées et celles de la mer, la dimension se détermine par les formules suivantes :

Pour

$$\rho_0 < \rho_\infty \text{ -----} > B_t = 2y_1 d_0 \sqrt{1 + 1/tg^2 \psi} \quad (4-28)$$

$$\rho_0 = \rho_\infty \text{ -----} > B_t = 0.24 \bar{x} d_0 / \cos \varphi_0 \quad (4-29)$$

$$\rho_0 > \rho_\infty \text{ -----} > B_t = 0.24 \bar{S} d_0 \quad (4-30)$$

La vitesse du courant d'eau de la mer et le coefficient de la diffusion turbulente horizontale doivent être présentés par le service hydrométéorologique pour les conditions les plus défavorables on peut supposer que ces condition correspondent aux vitesses assez faibles du courant.

Pour cela, on peut déterminer le coefficient de la diffusion turbulente par le formule (4-5). Pour le courant provoqué par le vent, le coefficient de la diffusion turbulente sera :

$$D = \frac{(V_v h_v + \pi V_m H) d_e^{1/3}}{\pi k_0 H^{1/3}}$$

Où

V_v = Vitesse de déplacement des vagues.

h_v = hauteur des vagues pendant ce vent.

V_m = la vitesse moyenne du courant des eaux de mer pour toute la profondeur dans la section considérée

d_e = Le diamètre équivalent des dépôts formés par les pollutions.

k_0 = Coefficient qui tient compte des condition de la formation des vagues (pour le vent Fort $k_0 = 250$ à 350 , pour le vent faible $k_0 = 150$).

4-5 Conclusion

Les différentes méthodes utilisées pour le calcul de la dilution sont basés sur une même théorie d'application. En pratique nous privilégions certaines méthodes par rapport à d'autres pour la facilité du calcul en respectant toutes les conditions posées et les valeurs limites.

Pour notre calcul de la dilution, nous avons trois cas d'exutoire les rivières, les lacs et retenues, et les mers dont les méthodes sont les suivantes :

1-Pour les rivières (cas rare en Algérie) ; la méthode la plus appliquée est celle de « PHROLOF-RODSILLER » qui est basé sur la résolution de l'équation différentielle de la diffusion turbulente.

2-Pour les lacs et retenues, nous avons deux méthodes avec lesquelles on obtient la même précision la plus utilisée est celle de « LAPSCHEV » pour sa simplicité.

La méthode propose une vitesse d'eau du rejet $> 2\text{m/s}$ et une profondeur supérieure au moins à 30 fois le diamètre.

3-Pour les mers c'est une étude récente, qui demande beaucoup de délicatesse dans le calcul, étant données que les eaux usées sont rejetées sans aucun contrôle, ce qui augmente leurs taux de pollution. Pour cela, il faut tenir compte de toutes les possibilités :

a- La dilution initiale pour l'eau légère ($\rho_0 < \rho_\infty$).

b- La dilution initiale pour les conditions ordinaires ($\rho_0 = \rho_\infty$).

c- La dilution initiale pour l'eau lourde ($\rho_0 > \rho_\infty$).

Ces méthodes pratiques sont réalisées grâce à la continuité des eaux rejetées et des caractéristiques des eaux d'exutoire.

L'influence des valeurs telles que, la variation des débits, le nombre de rejet, changement de profondeur, etc....., est impérativement nécessaire pour garder les conditions sanitaires demandées, pour les cas les plus défavorables, nous précisons que la difficulté du calcul augmente en fonction de ces influences.

5-PERFECTIONNEMENT DU CALCUL DE L'EFFICACITE DEMANDEE

5-1 Généralités :

Le but de ce travail est de déterminer la concentration de la pollution des eaux de l'exutoire après le rejet des eaux usées ; par conséquent, la détermination de l'efficacité demandée de l'épuration de ces eaux usées par la station d'épuration, en utilisant comme valeur principale le taux de la dilution qui varie pour chaque type d'exutoire.

Dans les chapitres précédents, nous avons précisé que la dilution dépendait de plusieurs paramètres et conditions, durant le calcul, nous prenons en considération tous ces éléments, en respectant les conditions posées.

Les moyens utilisés pour le calcul de la dilution pour chaque type d'exutoire, nous entraîne à des expressions assez complexes qui nécessitent une connaissance en mathématique très approfondie ; pour simplifier et améliorer la méthode de calcul, on a eu recours à l'ordinateur.

Un programme globale, tenant compte de tous les paramètres et cas possibles, a été conçu, pour améliorer le calcul du rejet pour les différents types d'exutoire, tout en essayant de maîtriser la qualité des eaux à rejeter et évité par la même, une station d'épuration coûteuse.

5-2 Analyse des possibilités de l'amélioration du calcul des rejets :

Précédemment, nous avons étudié la base théorique du calcul des rejets, y compris celle de la détermination des concentrations des pollutions des eaux après le rejet. Nous avons constaté que les moyens pratiques utilisés se calculent manuellement, car elles contiennent certaines simplifications, qui rendent le calcul moins difficile et les résultats moins précis. Donc la seule possibilité d'améliorer le calcul et pour une meilleure efficacité est l'utilisation de l'ordinateur.

Nous rappelons que toutes les études effectuées à ce jour sont basées essentiellement sur trois conditions principales :

- 1-La dilution se passe toujours avec une masse constante des matières polluantes formant le mélange des eaux usées et celle de l'exutoire.
- 2-L'étude du cas d'un seul rejet faute de précision pour le cas de plusieurs.
- 3-Les caractéristiques hydrodynamiques et sanitaires de la formation du mélange restent toujours constantes, c'est-à-dire que les valeurs sont invariables pour les conditions initiales des débits, vitesse, profondeurs, etc....

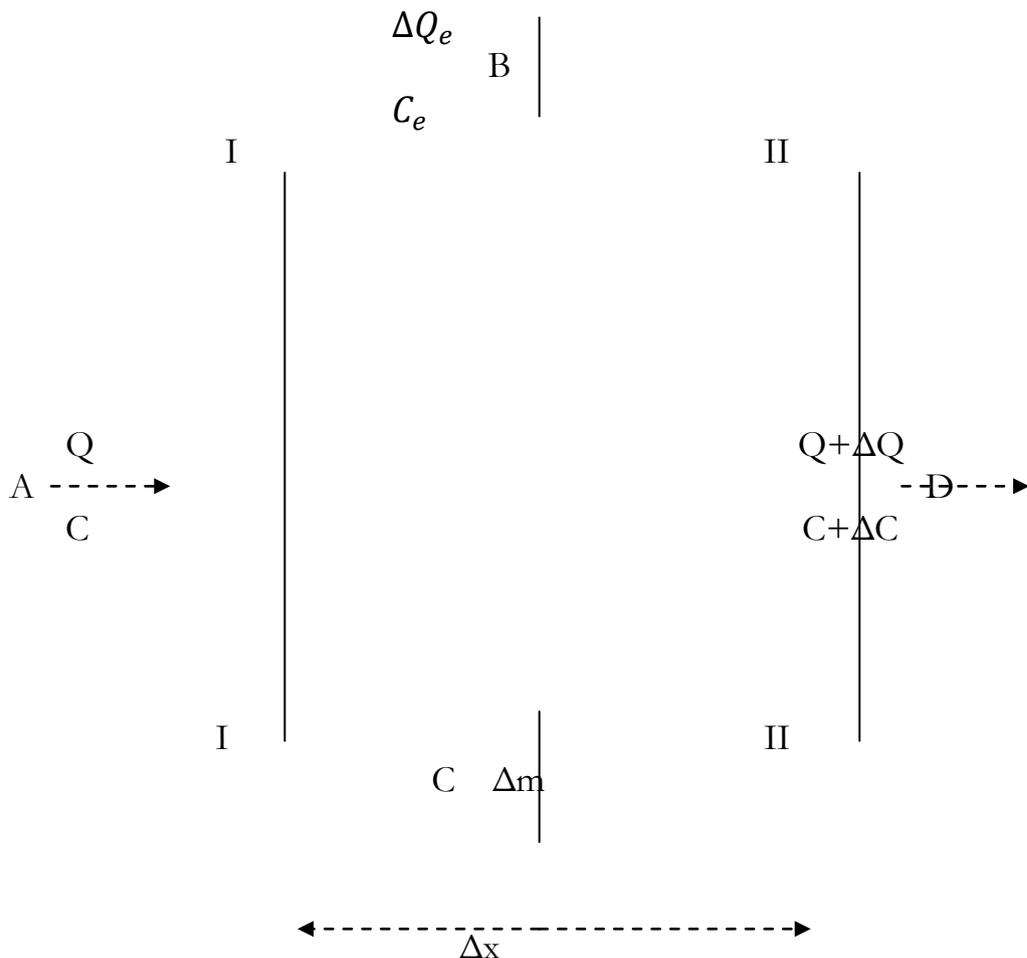
Ces valeurs sont parfois assez loin des conditions réelles de la dilution des eaux usées ; cela nous amène à rechercher une approche fiable entre ces valeurs.

Après une étude comparative de ces trois conditions avec la théorie et les moyens pratiques de calcul, on remarque que les deux premières sont indépendantes du type de l'exutoire, et le troisième est liée directement avec les caractéristiques de chaque type d'exutoire.

L'analyse du cas général de la première condition, à savoir la transformation possible des matières polluantes et la dilution, est de déterminer le changement des concentrations des pollutions au cours de la dilution, avec l'existence en même temps de la transformation des mêmes matières polluantes se trouvant dans l'eau de l'exutoire.

Dans le cas où il y a absence des rejets précédents, on peut négliger ce phénomène, puisque dans l'eau de l'exutoire il y a toujours un équilibre qui se garde au cours de la dilution.

Nous supposons que pour n'importe quelle section à considérer dans l'exutoire où se passe la dilution des eaux usées et où s'effectue simultanément le processus de la transformation des polluantes, l'équation de la conservation de la masse de ces pollutions peut être composée à partir du schéma suivant :



I-I et II-II : Les deux sections successives à examiner.

Δx : La distance entre les des sections.

Q : Le débit du mélange des eaux usées et celles de l'exutoire.

C : La concentration d'une pollution du mélange passant par la section I – I.

ΔQ_e : Le débit des eaux de l'exutoire qui augmente le débit du mélange durant le parcours de la distance Δx .

C_e : La concentration d'une pollution dans l'exutoire.

ΔQ : Variation du débit formé par le mélange de la section I – I à la section II – II.

ΔC : variation de la concentration d'une pollution de la section I- I à la section II - II.

Δm : La masse d'une pollution perdue par les divers processus physico-chimiques de la transformation de ce type.

D'où la forme de l'équation de la conservation de la masse des pollutions sera :

$$M_A + M_B - M_C = M_D \quad (5-1)$$

Où

M_A = La masse entrante dans le volume à considérer.

M_B = La masse entrante dans le volume du mélange pendant un certaine durée pour augmenter le débit du mélange.

M_C = La masse perdue par la transformation.

M_D = La masse sortante du volume.

D'après le sens physique des masses considérées, on peut écrire :

$$M_A = CQ = C(1 + n) q \quad (5-2)$$

Où

n = Le taux de la dilution pour la section I – I .

q = Le débit des eaux usées rejetées.

$$M_B = C_e \Delta Q_e = C_e \Delta n q \quad (5-3)$$

Où

Δn = Augmentation du taux de la dilution dans le volume à considérer.

$$M_D = (C + \Delta C) (Q + \Delta Q) = (C + \Delta C) ((1+n)q + \Delta nq) \\ = (C + \Delta C) ((1+n + \Delta n)q) \quad (5-4)$$

Pour la masse M_C , il faudra utiliser l'équation symétrique de la transformation d'une pollution.

Par exemple : pour la réduction des matières organiques présentées par le DBO, l'équation est de la forme suivante :

$$\frac{dL_{DBO}}{dt} = K L_{dbo} \quad (5-5)$$

Où $\frac{dl}{dt} DBO$ = La vitesse de la réduction des matières organiques dont la

Concentration initiale = L.

K = La concentration de la vitesse de la réduction.

Cette équation représente l'allure exponentielle du changement des concentrations, elle peut être pour les autres types de processus dont l'allure est la même, c'est-à-dire exponentielle par exemple : sédimentation, vaporisation... (3, 19,20).

Donc, nous pouvons utiliser pour notre étude de type d'équation de la transformation des polluants en tenant compte de la possibilité de la changer s'il est nécessaire :

$$D'où la masse perdue sera : $M_c = Q \cdot \Delta c$ \\ Avec $C = K C \Delta t$ \quad (5-6)$$

Où t = Le temps de séjour du mélange dans le volume à considérer entre la section I-I et II - II.

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{V} \quad (5-7)$$

Où V = La vitesse de parcours du mélange dans le volume.

Par conséquent, la masse perdue sera :

$$M_c = \Delta m = Q \Delta C = Q K C \Delta t$$

$$M_c = \frac{K C \Delta x}{V} (1 + n) q = \frac{(1+n) q K C}{V} \Delta x \quad (5-8)$$

Des explications présentées ci-dessus, nous aurons l'équation (5-1) de la forme suivante :

$$C(1+n)q + C_e \Delta n q - \frac{(1+n)K C q}{V} \Delta x = (C + \Delta C)(1+n + \Delta n)q.$$

$$C(1+n) + C_e \Delta n - \frac{(1+n)}{V} K \Delta x = (C + \Delta C)(1+n + \Delta n).$$

$$C_e \Delta n - \frac{(1+n)K}{V} C \Delta x = C \Delta n + \Delta C + \Delta C n.$$

En conclusion :

$$\Delta C = C_0 - C) \frac{\Delta n}{1+n} \frac{K}{V} C \Delta x \quad (5-9)$$

La résolution de cette équation (5-9) est très difficile vu que les valeurs « n » et « Δ n » se déterminent à partir d'un système d'équations tout en respectant les conditions hydrodynamiques de la dilution.

Pour ce cas, nous optons pour une valeur finale de la concentration des polluants par le moyen approximatif en utilisant la méthode des éléments finies.

Le calcul de ce moyen est réalisable grâce à l'ordinateur dont l'organigramme général fera l'objet d'une étude poussée ultérieure (lors de la thèse de doctorat).

Pour les rejets successifs, on peut considérer les conditions suivantes cas de la rivière (où il peut y avoir une dilution complète).

1. -La distance entre les rejets voisins est supérieure ou égale à celle qui correspond avec la dilution complète. Le rejet qui suit, est placé après la dilution complète des eaux rejetées avec les eaux de l'exutoire (fig. 5-3-a).
2. -La distance entre les rejets voisins est inférieure à celle nécessaire pour la dilution complète (fig.5-3-b).
3. -Le cas de plusieurs rejets successifs à des distances rapprochées (dilution incomplète) et éloignées (dilution complète) (fig.5-3-c).

Le cas général de la détermination des dilutions et les concentrations des pollutions, peut être facilement étudiée avec la condition suivante : s'il n'y a pas de transformation des pollutions au cours de la dilution ; on peut considérer que la concentration qui est formée par l'action mutuelle des rejets successifs, sera composée par la somme des concentrations obtenue par chaque rejet à part, dans la section à considérer. Les trois cas sont présentés sur (fig.5-4 a, b, c).

Quand il s'agit du cas où les pollutions se transforment au cours de la pollution, on doit prévoir que la dilution des eaux usées du rejet qui suit s'effectuera avec les eaux diluées partiellement ou complètement, et que les pollutions de toutes ces eaux se transforment en concordance avec la concentration des pollutions. Le temps de transformation et les conformités à la loi correspondante pour chaque rejet.

Nous remarquons que ces phénomènes de la dilution deviennent très complexes, et il faudra trouver une autre solution pour rendre les résultats plus précis et simple.

Nous proposons d'ajouter les valeurs qui caractérisent le changement de la concentration pour chaque rejet en se basant sur l'analyse de l'équation (5-6) qui représente la masse perdue d'une pollution au cours de la dilution :

$$\Delta C = KC\Delta t$$

Avec $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$ (5-10)

Où $C_1, C_2, \dots =$ sont les concentrations de la pollution formée dans le même point donné par chaque rejet.

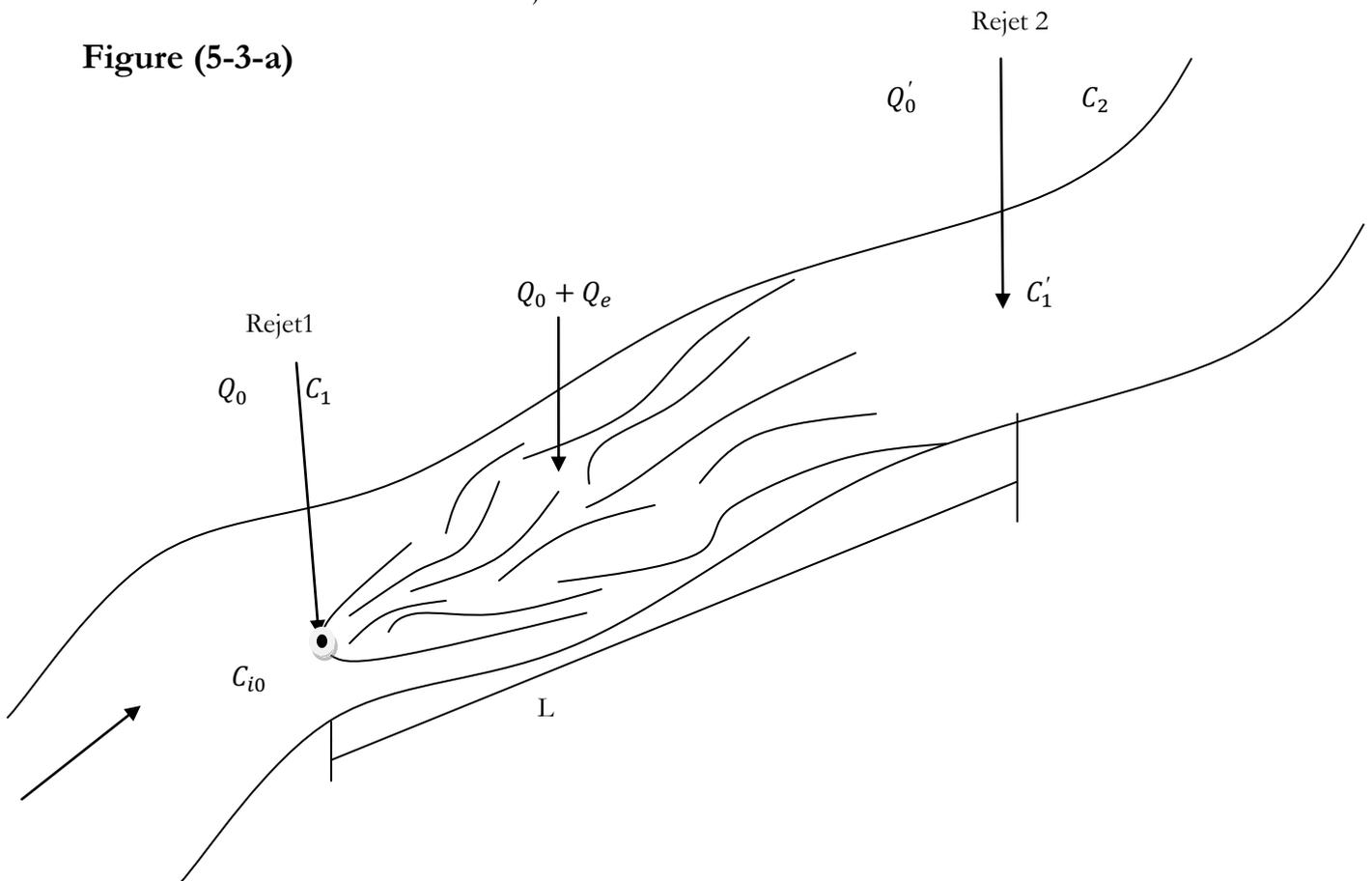
Fig. (5-3-a) pour le cas des rivières :

La valeur de limite correspond à celle qui assure la valeur de :

$$\gamma \geq 0,95$$

Le cas où la distance entre les rejets $\geq L$

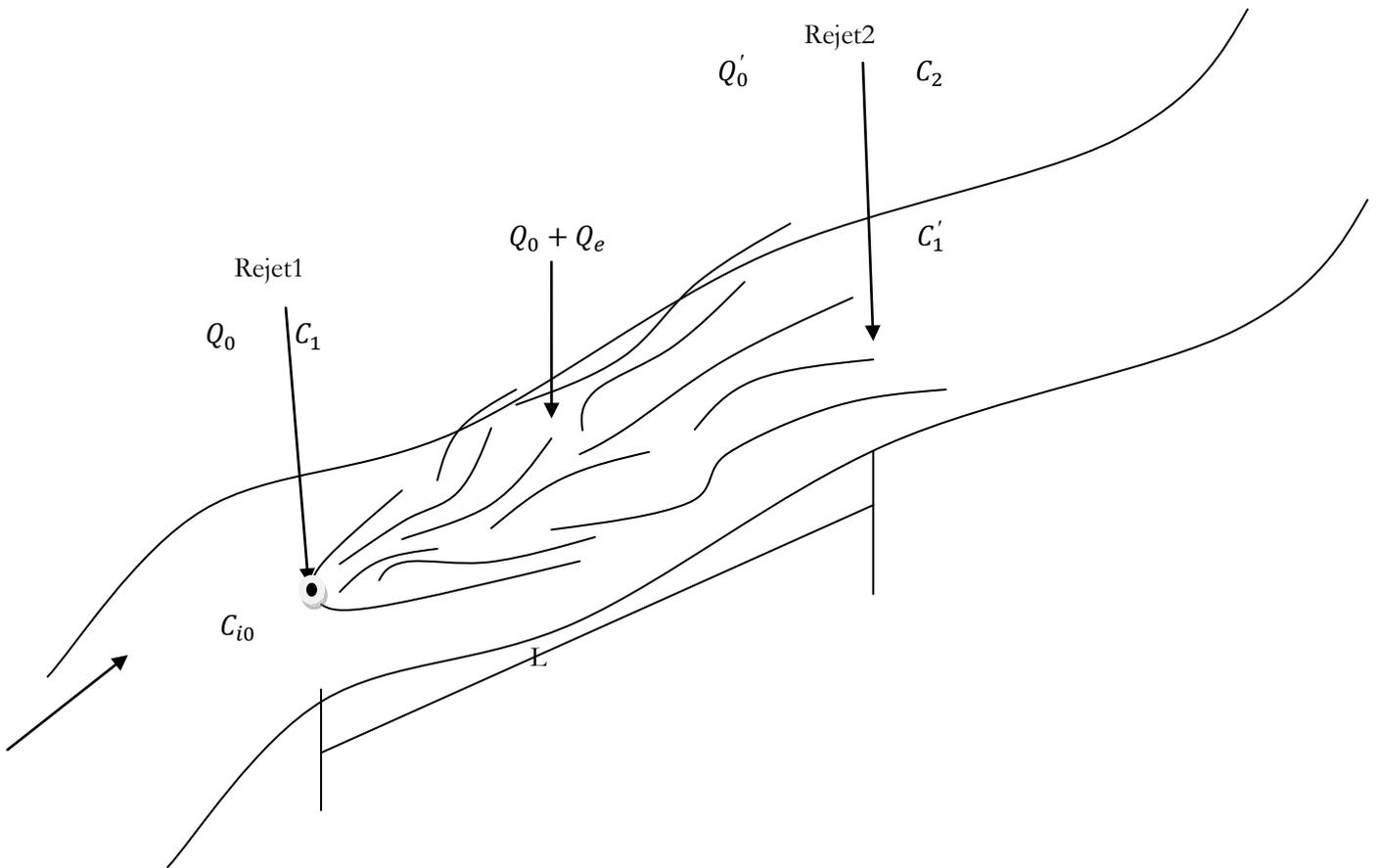
Figure (5-3-a)



Comme le montre la figure, nous avons deux rejets à une distance assez grande, donc on peut dire que la dilution du premier rejet se fera complètement avant l'arrivée du 2^o rejet c'est-à-dire que la concentration du 1^o rejet est $C_1 + C_2$ au 2^o rejet qui est la concentration finale du 1^o rejet nous aurons $C_i = C_1 + C_2 = C'_i$ qui est la concentration initiale du 2^o rejet et ainsi de suite.

Figure. (5-3-b)

Le cas où la distance entre les rejets $\leq L$.



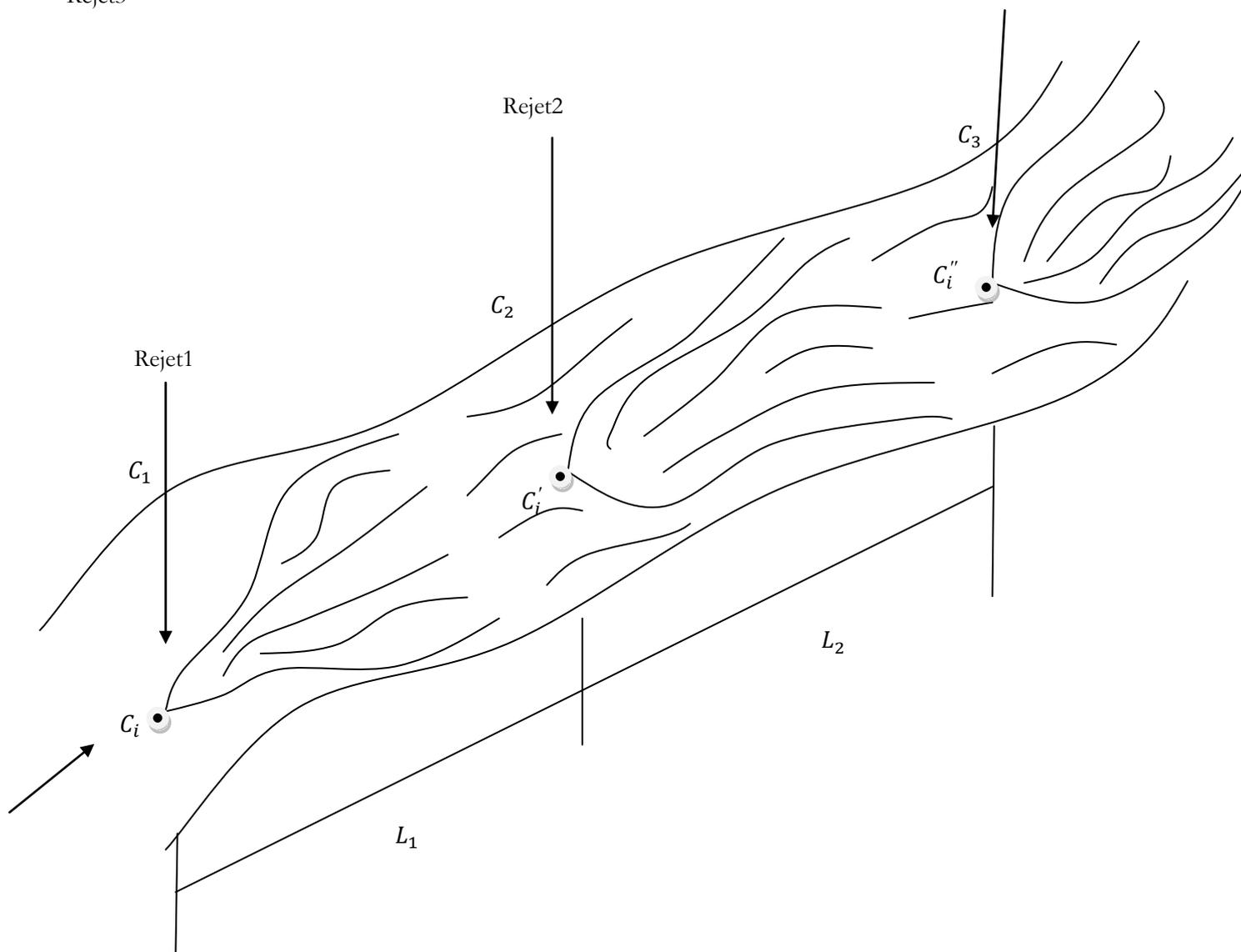
Dans ce cas, la dilution du 1^o rejet et la dilution du 2^o rejet se rejoignent, c'est-à-dire la distance entre les rejets $\leq L$, nous donne les concentrations suivantes :

C_i Concentration de l'exutoire au premier rejet nous aurons $C_i + C_1$ au 2^o rejet nous aurons $C_i + C'_2 = C_i + C_1 + C_2 = C'_i$ et ainsi de suite pour le reste des rejets.

Figure (5-3-c)

Le cas où nous avons une distance entre les rejets $\leq L_2$ et une distance $\geq L_1$

Rejet3

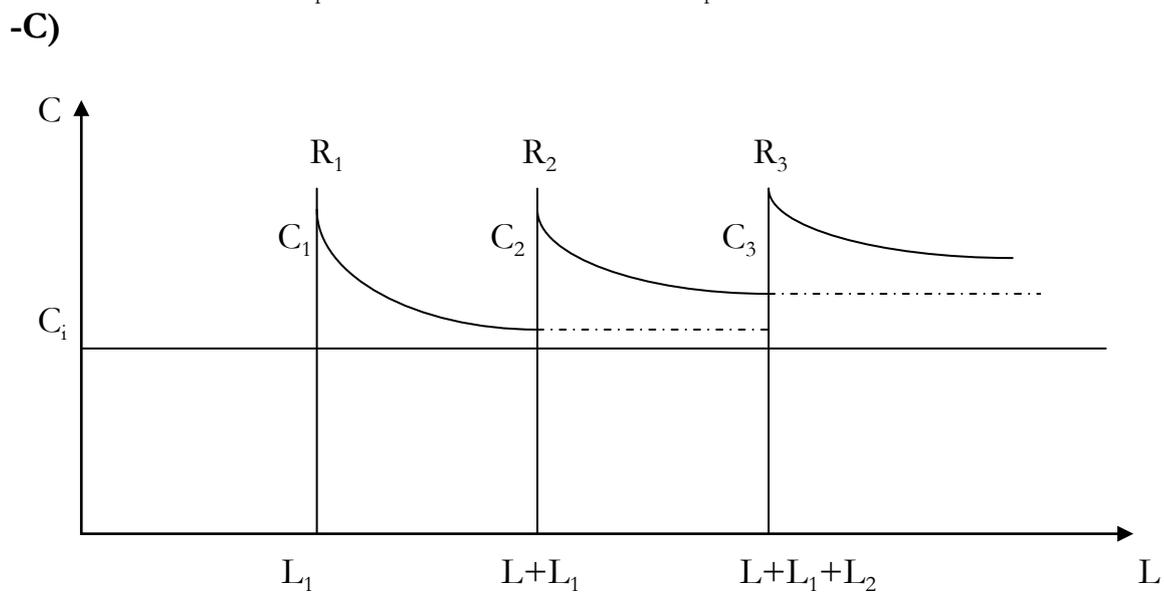
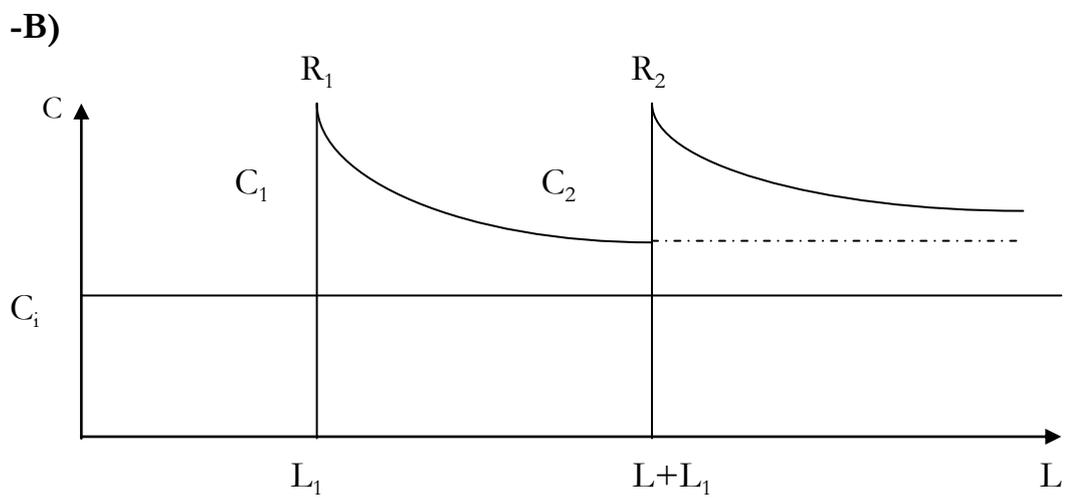
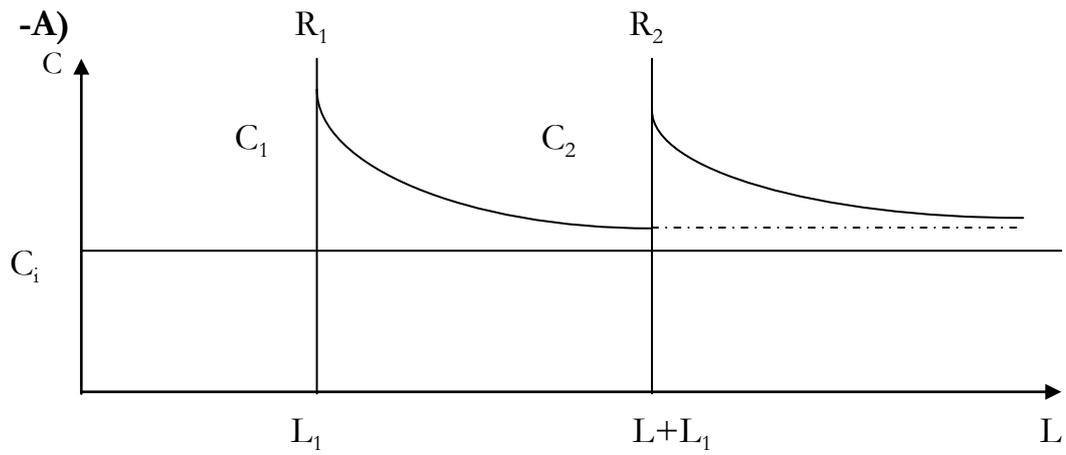


Comme on l'a expliqué pour les 2 cas précédents nous aurons une combinaison des concentrations.

$$\begin{aligned} 1^\circ \text{rejet } C_i + C_1 \\ 2^\circ \text{rejet } C'_i = C_i + C_2 \\ 3^\circ \text{rejet } C''_i = C_i + C_2 + C_3 \end{aligned}$$

Figure (5-1)

D'après le graphe nous aurons :



On aura donc :

$$A C = K (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) \quad (5-11)$$

En supposant que pour la même pollution on a les mêmes particularités de la transformation d'où :

$$K = K_1 = K_2 = K_3 = \dots = K_n \quad (5-12)$$

(5-3) devient :

$$AC = (K_1 C_1 + K_2 C_2 + K_3 C_3 + \dots + K_n C_n) \Delta t$$

$$= \sum_{i=1}^n K_i C_i \Delta t \quad (5-13)$$

Ou bien :

$$AC = \Delta C_1 + \Delta C_2 + \Delta C_3 + \dots + \Delta C_n \quad (5-14)$$

La concentration finale sera :

$$C_f \longrightarrow C + \Delta C \quad (5-15)$$

Donc elle est la même que celle déterminée par les formules (5-6) et (5-11)

Cas de la mer (identique à celui du lac ou retenue)

Etant donné que dans ces exécutoires la direction n'est pas fixe, puisqu'elle dépend de la direction du vent, il nous est difficile de déterminer la dilution complétée dans le cas où nous avons plusieurs rejets. Pour déterminer la concentration, nous devons tenir compte des influences mutuelles des rejets, car pour chaque rejet nous allons avoir une turbulence qui s'élargie au fur et à mesure qu'on s'éloigne des rejets.

Le calcul de la concentration dans un point quelconque A sera (voir figure 5-5).

Nous étudierons le cas de trois rejets, on choisit un point A.

La distance (L1A) qui sépare le rejet A du point, est connue, ainsi que les angles que forme L1A Avec les distances entre les rejets 1-2 et 1-3 .Pour déterminer la concentration de chaque rejet dans le point considéré tenant compte de l'influence de chaque rejet par rapport à l'autre.

Par exemple pour le cas de la figure (5-5-a), nous avons :

$$*C_{1A} = C_{A1}^{R1} + C_{A1}^{R2} + C_{A1}^{R3}$$

$$*C_{A2} = C_{A2}^{R1} + C_{A2}^{R2} + C_{A2}^{R3}$$

$$*C_{A3} = C_{A3}^{R1} + C_{A3}^{R2} + C_{A3}^{R3}$$

Pour le cas de la figure (5-5-b) :

$$*C_A = C_A^{R1} + C_A^{R2} + C_A^{R3}$$

La différence entre les deux cas, c'est que dans le premier nous avons pris un point à part pour chaque rejet et nous remarquerons qu'en composant la somme des concentrations nous avons une influence mutuelle des rejets en ne considérant pas la concentration de chaque rejet à part. Ce qui revient à dire que le deuxième cas est une déduction du premier sauf que pour celui-ci nous avons un seul point.

Pour déterminer la concentration, nous devons connaître des distances qui séparent chaque rejet du point considéré (voir figure 5-5)
La concentration peut être écrite dans le cas où nous avons plus de trois (3) rejets de cette façon :

$$C_n = \sum_{1=1}^n C_n^{R1}$$

Nous remarquerons que la formule obtenue est identique à celle du cas de la rivière, la seule différence c'est que la distance pour la rivière se détermine à partir de l'endroit du rejet jusqu'à la section considérée par contre pour la mer (retenue et lac) la distance est calculée à partir d'une formule assez compliquée qui tient compte de la superposition géométrique des rejets.

a-

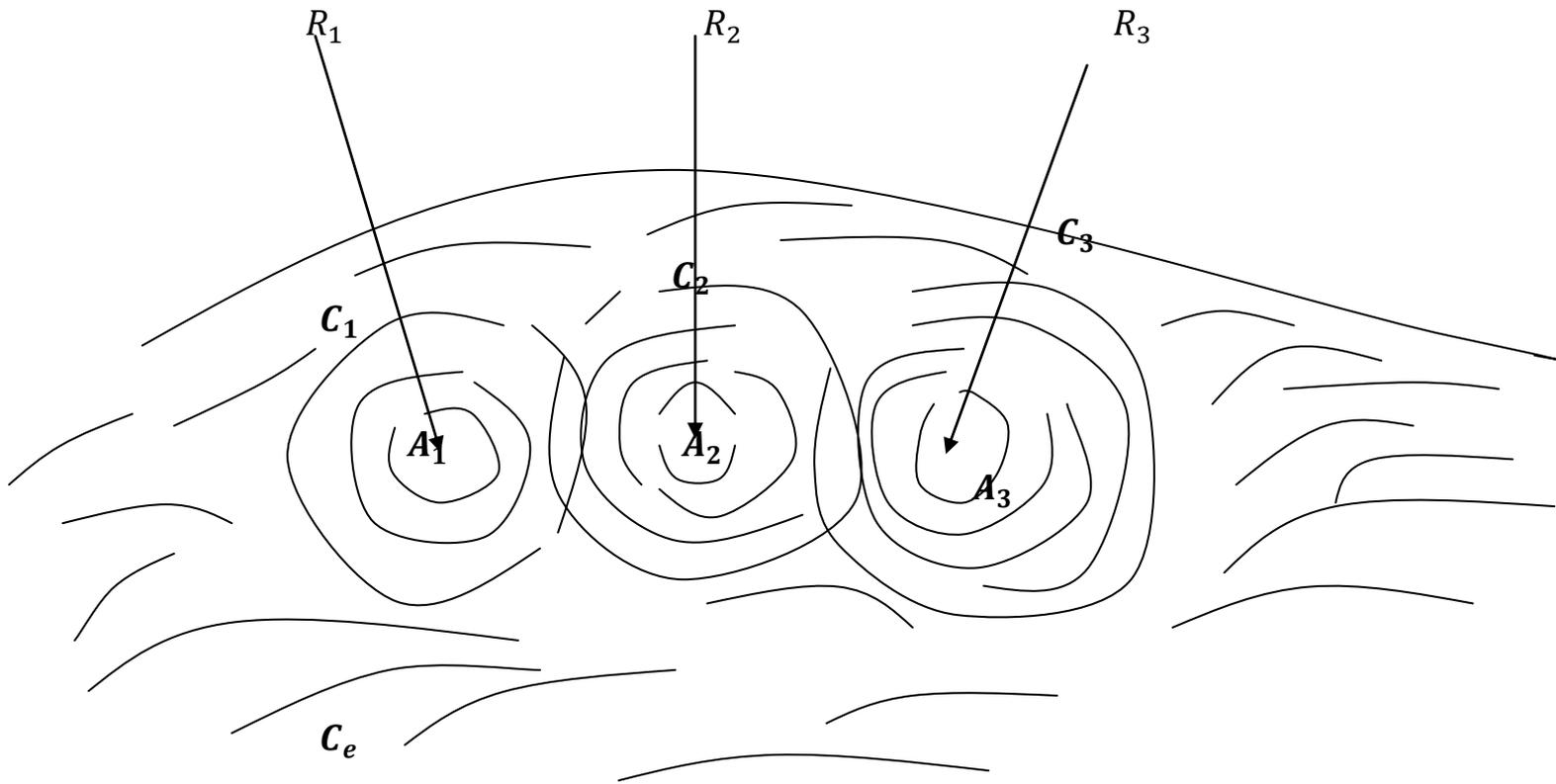


Figure (5-5)

La concentration sera :

$$C_{A1} = C_{A1}^{R1} + C_{A1}^{R2} + C_{A1}^{R3}$$

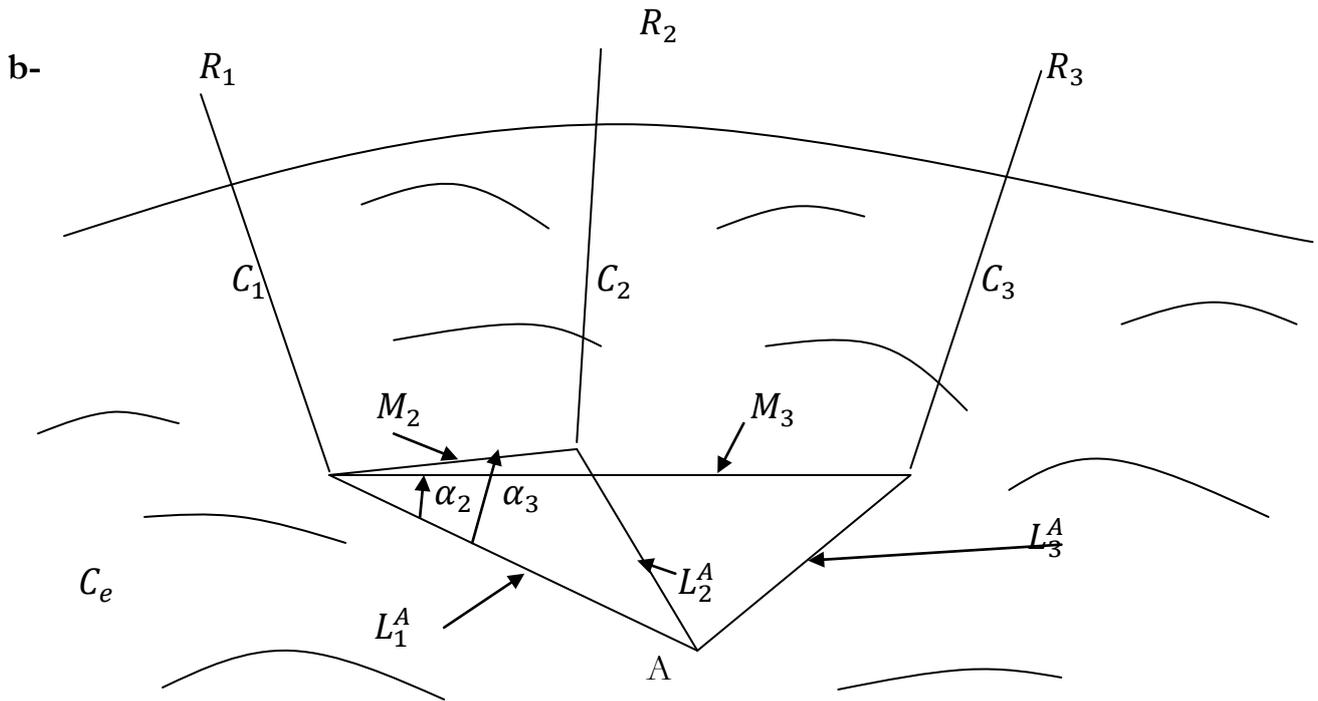
$$C_{A1}^{R1} = C_1 + C_e$$

où $\begin{cases} C_1 = \text{concentration finale après l'épuration ou la concentration des eaux à rejeter.} \\ C_e = \text{concentration de l'écutoire.} \\ C_{A1}^{R1} = \text{la concentration des eaux dans un point considéré } A_1. \end{cases}$

Même chose pour les autre cas.

$$C_{A2} = C_{A2}^{R1} + C_{A2}^{R2} + C_{A2}^{R3}$$

$$C_{A3} = C_{A3}^{R1} + C_{A3}^{R2} + C_{A3}^{R3}$$



Dans ce cas :

$$CA = CA^{R1} + CA^{R2} + CA^{R3}$$

Nous avons choisis un point A quelconque pour pouvoir déterminer cette concentration nous devons connaître les distances suivantes :

L_1^A = connue ; distance qui sépare le R_1 du point A.

L_2^A = à déterminer ; distance qui sépare le R_2 du point A.

L_3^A = à déterminer ; distance qui sépare le R_3 du point A.

R_1, R_2, R_3 = rejet considéré.

M_2 = distance qui sépare le R_1 du R_2 .

M_3 = distance qui sépare le R_1 du R_3 .

α_2 = angle que forme M_2 avec L_1^A .

α_3 = angle que forme M_3 avec L_1^A .

Nous avons pour les longueurs L_2^A, L_3^A d'après les formules suivantes :

$$L_2^A = \sqrt{L_1^{A2} + M_2^2 - 2L_1^A M_2 \cos \alpha_2}$$

$$L_3^A = \sqrt{L_1^{A2} + M_3^2 - 2L_1^A M_3 \cos \alpha_3}$$

L'influence des paramètres hydrodynamiques qui forment le 3eme groupe des facteurs à préciser sur l'effet de la dilution pour chaque type d'exécutoire sera :

- Pour les rivières la dilution se présente par fonction générale suivante :

$$\eta = F_1(\xi; \varphi; H; V; C_S; L; Q_0; Q_e) \quad (5-16)$$

- Pour les lacs retenus on aura :

$$\eta = F_2(A; L; d_0; V_e; V_0; H; L_B; W_0; w_0; \beta) \quad (5-17)$$

- Et pour la mer :

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_p \quad (5-18) \quad \begin{cases} \eta_i = \text{dilution initiale.} \\ \eta_p = \text{dilution principale.} \end{cases}$$

$$\eta_i = F_3(\varphi_0; x; d_0; V_0; \rho_0; \rho_\infty)$$

$$\eta_p = F_A(D; N; V_e; \varphi_0; x; d_0; V_0; \rho_0; \rho_\infty)$$

(5-18)

D'après les fonctions citées ci-dessus et obtenues à partir des explications des chapitres (3) et (4), on peut pas préciser quels sont les paramètres qui nous permettent d'obtenir un taux de dilution assez grand pour assurer une concentration assez petite d'une pollution dans la section à considérer .voilà pourquoi nous avons décidé d'utiliser le système informatique pour le calcul, tenant compte des changements possibles des paramètres utilisées et pour trouver les conditions optimales (qui fera l'objet de la thèse).

6-CONCLUSION GENERALE

La détermination de l'efficacité demandée de l'épuration des eaux usées, dépend des concentrations finales des pollutions des eaux à rejeter dans l'exutoire, qui sont les valeurs principales pour évaluer la concentration d'une station d'épuration.

Les concentrations finales dépendent de deux caractéristiques principales qui sont présentées par les conditions sanitaires à garder dans une section considérée et par les conditions hydrodynamiques de la dilution et de la transformation possible des pollutions rejetées. Les conditions sanitaires sont présentées par les concentrations limites élaborées par les organismes concernés ou par l'organisation mondiale de la santé.

Les conditions hydrodynamiques s'expriment par une valeur les englobant, qui est le taux de la dilution en tant que valeur physique montrant le débit relatif des eaux d'exutoire, qui prend part à la formation du mélange avec les eaux rejetées.

La détermination de cette valeur est une étape obligatoire pour calculer des concentrations limites, les concentrations finales et par conséquent l'efficacité demandée de l'épuration des eaux usées par la station d'épuration.

L'analyse théorique de la détermination des coefficients de la dilution nous montre que la théorie est pratiquement vérifiable. Pour simplifier la présentation mathématique, nous avons jugé utile de présenter cas par cas les différents types d'exutoire.

Nous avons examiné l'influence de quelques facteurs, généralement négligés pour les méthodes pratiques (en considérant le problème de la détermination d'une valeur minimale possible de l'efficacité demandée, tout en gardant les conditions sanitaires nécessaires) :

- Les rejets successifs
- La transformation possible des matières polluantes rejetées au cours de la dilution
- Optimisation des conditions hydrauliques et constructives du rejet y compris la mise en évidence de l'influence des irrégularités des débits à rejeter

En examinant ces trois cas nous avons obtenus les équations qui tiennent compte des changements des concentrations des pollutions dans la section considérée, dans le cas assez répandu des rejets successifs pour la transformation des pollutions, nous avons fait le bilan de la masse, et les équations obtenues sont applicables pour n'importe quelle condition de la dilution des eaux usées, contenant des pollutions transformables. L'optimisation des conditions du rejet n'est possible que pour le cas des variations possibles de certains paramètres faisant parties des équations de la dilution. Il s'agit des

variations des débits, des vitesses d'introduction des eaux usées dans l'exutoire, des types de rejet, des profondeurs.....

La multiplicité du nombre de facteurs, et la complexité de leur influence, nous permet d'utiliser le choix des conditions optimales, dans la direction précisée par le résultat du calcul. L'utilisation des précisions proposées par l'examen théorique expliqué ci-dessus, entraîne à des difficultés considérables supplémentaires pour le calcul du rejet. La méthodologie proposée n'est réalisable qu'avec un système informatique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] VALIRON ET AUTRES, 1983 : *"La réutilisation des eaux usées"*, PARIS.
- [2] N.N.LAPCHEV, 1977 : *"Calcul des rejets des eaux usées"*, STROIIZDAT, MOSCOU.
- [3] Aide-mémoire, 1983 : *"Pour l'élaboration des projets de bâtiments industriels et d'habitations assainissement des agglomérations industrielles"*, STROIIZDAT, MOSCOU.
- [4] S.N.TCHEKINSKI, 1971 : *"Conditions sanitaires du rejet dans les eaux usées dans l'exutoire"*, STROIIZDAT, MOSCOU.
- [5] J.RODIER, 1978 : *"L'analyse de l'eau"*, DUNOD, PARIS BORDAS.
- [6] GANELLA : *"Les eaux usées d'agglomérations "*.
- [7] I.D RODSILLER, 1968 : *"Détermination du taux de la dilution des eaux usées pour la protection sanitaires des exutoires"*.
REVUE : *"Hygiène et assainissement"* , N°3 traduite de la langue russe en langue française.
- [8] M.A ROUFFEL, 1969 : *"Détermination de la dilution des eaux usées pour la protection sanitaire des exutoires"*.
REVUE : *"Hygiène et assainissement"* , N°11.
- [9] M.I ATLAS, 1963 : *"Processus de la dilution du rejet des eaux usées dans la mer"*.
REVUE : *"A.E.P et assainissement"* , N°4.
- [10] S.V YAKOVHEV, 1975 : *"Assainissement"*, STROIIZDAT, MOSCOU.
- [11] Y.K TCHERNOUS, 1963 : *"Condition sanitaires du rejet des eaux usées dans la mer et la longueur de la zone de distribution"*.
REVUE : *"A.E.P et assainissement"* , N°4.
- [12] N.F VOZNAIC, 1979 : *"Chimie et microbiologie de l'eau"*. ECOLE SUPERIEURE, MOSCOU.
- [13] A.I JOUKOV, 1970 : *"Canalisation des entreprises industrielles"*. STROIIZDAT, MOSCOU.

- [14] A.I TCHEBOBAREV, 1970 : "*Hydrologie générale*". GIDMETIZDAT, LENINGRADE.
- [15] R.R TCHOUGACV, 1968 : "*Hydrologie*". GOCENERGOIIZDAT, MOSCOU.
- [16] GREMENIERAS, 1979 : "*Hydrologie de l'ingénieur*". EYROLLES, PARIS.
- [17] F. AYERES, 1978 : "*Mathématiques de base*".
- [18] L.G LOIBSIANSKI, 1970 : "*Mécanique des fluides et des gazs*".
- [19] V.V KAFAROV, 1962 : "*Principe de l'échange des masses*". ECOLE SUPERIEURE, MOSCOU.
- [20] A.G KASATKIN, 1971 : "*Les processus principaux et les appareils de la technologie en chimie*". CHIMIE, MOSCOU.
- [21] E. ADAMIS, 1984: "*Lexique basic*". PARIS, Mc GRAW-HILL.
- [22] N.P NOCHKOV, B.B MANIBCHEV, 1983 : "*Systèmes de l'élaboration automatique des appareils électriques et des ordinateurs*". ECOLE SUPERIEURE, MOSCOU.
- [23] V.V KAFAROV et autres, 1979 : "*principes mathématiques de l'élaboration automatique des projets*". CHIMIE, MOSCOU.
- [24] V.V NAIDENKO et autres, 1984 : "*Optimisation des processus de l'épuration des eaux urbanistiques et résiduelles*". STROIIZDAT, MOSCOU.
- [25] Y.I ZANGVILL, 1973 : "*Programmation non linéaire*". MOSCOU.