



# MEMOIRE DE MASTER

*Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: ALIMENTATION EN EAU POTABLE**

**THEME :**

**Impact des sections coudées sur la conception des systèmes  
d'alimentation en eau potable**

**Présenté par :**

**Amar Mohammed Ayoub**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
HACHEMI Abdelkader	M.C.A	Président
HADJ SADOK Nabila	M.A.A	Examineur
AMIRI Djamel	M.A.A	Examineur
DERNOUNI Fouzia	M.A.A	Examineur
MOKRANE Wahiba	M.C.B	Promoteur

**Session septembre 2023**

## Remerciements

Mes remerciements les plus sincères vont à mon professeur MOKRANE Wahiba, qui a accepté de m'encadrer durant la réalisation de ce mémoire de fin d'études, elle était d'un grand apport par ses conseils précieux qui ont enrichis certainement ce travail.

Je remercie aussi tous les professeurs de l'école nationale supérieure d'hydraulique, qui nous ont enseigné, durant le cycle d'étude.

Je remercie aussi les professeurs membre de jury, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail.

Enfin, mes remerciements vont à toutes les personnes qui m'ont aidé de loin comme de près pour achever ce mémoire.

## Dédicaces

A mes parents

A mes grands parents

A mes frères et sœurs

A mon beau frère

A Malik

A mes amis

Ayoub

## ملخص

يتطلب توفير مياه الشرب تركيب أنابيب مناسبة، والتي غالبًا ما يتم توصيلها ببعضها البعض بواسطة أجزاء خاصة بما في ذلك المرفق. في عملنا الحالي، تطرقنا إلى عمل هذه العناصر المتصلة، ومتانتها، من جهة ومن جهة أخرى تطرقنا لهشاشتها وضعفها، مع إيلاء اهتمام خاص لسلوك نظام إمدادات مياه الشرب بأكمله. للوصول إلى هدف دراستنا، المتمثل في استكشاف عالم صنع المرفق وعملياتها.

تظهر نتيجة بحثنا أن طريقة الانحناء الساخن أو البارد، وكذلك نوع المادة المستخدمة في تصنيعها، مهمة في تشغيل المرفق، هذا من جانب، وعلى الجانب الآخر زاوية الانحراف مهمة لتحديد هشاشة وضعف المرفق.

## Résumé

L'approvisionnement en eau potable nécessite l'installation de conduites appropriées, qui sont souvent reliées entre elle par des pièces spéciales dont les coudes. Dans notre travail actuel nous allons le fonctionnement de ces éléments de liaison, leur durabilité mais aussi leur vulnérabilité, en accordant un intérêt particulier au comportement du système d'alimentation en eau potable en entier. Pour arriver au but de notre étude nous allons présenter et explorer le monde de fabrication des coudes et de leur fonctionnement.

Le résultat de notre recherche montre que la méthode de pliage à chaud ou à froid, ainsi que le type de matériau utilisé pour sa fabrication sont important dans le fonctionnement du coude, ceci d'un côté, d'un autre côté l'angle de déviation est important pour définir la vulnérabilité du coude.

## Abstract

The supply of drinking water requires the installation of appropriate pipes, which are often connected to each other by special parts including elbows. In our current work we are going to the functioning of these connecting elements, their durability but also their vulnerability, paying particular attention to the behavior of the entire drinking water supply system. To reach the goal of our study we will present and explore the world of making elbows and their operation.

The result of our research shows that the method of hot or cold bending, as well as the type of material used for its manufacture are important in the operation of the elbow, this on one side, on the other side the angle of deviation is important to define the vulnerability of the elbow.

## Table des matières

Introduction générale.....	01
Chapitre I : Méthodes de fabrication des conduites coudées	
I.1. Introduction.....	04
I.2. Tracé d'un système d'alimentation en eau potable et ses contraintes.....	04
I.3. Définition des coudes .....	04
I.4. Paramètres géométriques d'un coude.....	05
I.5. Types de coudes .....	05
I.5.1 L'angle de déviation.....	05
I.5.2 Le matériau de fabrication.....	06
I.6. Normes et tolérances de construction des coudes .....	06
I.7. Méthodologie de fabrication .....	07
I.7.1. Méthode de pliage au chaud .....	07
1. Pliage au four.....	07
2. Pliage incrémentaire .....	08
3. Pliage par induction.....	08
I.7.2. Méthodes de pliage à froid.....	09
1. Pliage par étirage rotatif .....	09
2. Pliage de ram .....	09
3. Cintrage par rouleau .....	10
I.8. Virages et Soudures des canalisations .....	10
I.9. Raccordement des coudes .....	12
I.9.1. Les raccords filetés par filetage .....	12
I.9.2. Par raccords à brides .....	12
I.9.3. Raccords à bourrelets .....	13
I.9.4. Les raccords à soudage .....	13
I.9.5. Les conditions d'assemblage .....	13
I.10. la perte de charge singulière dans les coudes.....	14
I.11. Recommandations.....	15
I.12. Conclusion .....	15

## Chapitre II : Impact des sections coudées sur le fonctionnement du transport de l'eau

II.1.Introduction.....	17
II.2.Perte de charge due au coude.....	17
II.2.1. Déviation arrondie.....	18
II.2.2. Déviation brusque.....	18
II.3 Impact du coude sur la pose des canalisations.....	19
II.4. Impact du coude sur les ondes du coup de bélier.....	19
II.5. Impact du coude sur la distribution d'air.....	20
II.6. Application n°1.....	20
II.7. Application n°2.....	23
II.8. Discussion des résultats.....	24
II.8.1. Discussion des résultats du coup de Bélier.....	24
II.8.2. Discussion des résultats de la diffusion.....	25
II.9. Conclusion.....	25
Conclusion général .....	26

Liste des figures

Chapitre I : Méthodes de fabrication des conduites coudées

Figure. I.01. Ecoulement de l'eau dans un coude.....	04
Figure. I.02. représentant les abréviations Eléments descriptifs d'un coude .....	05
Figure. I.03. les différents types de coudes source : « ornitolink.com ».....	06
Figure. I.04. de Pliage au four .....	07
Figure. I.05. Pliage incrémentaire .....	08
Figure. I.06. Pliage par induction.....	09
Figure. I.07. Pliage par étirage rotatif.....	09
Figure. I.08. Pliage de ram .....	10
Figure. I.09. Cintrage par rouleau .....	10
Figure. I.10. Photo de soudure des conduites .....	11
Figure. I.11. Photo de coude .....	12
Figure. I.12. représentant les types de raccords.....	13
Figure. I.13. Poussées hydrauliques dans quelques pièces spéciales.....	15

Chapitre II : Impact des sections coudées sur le fonctionnement du transport de l'eau

Figure.II.1. Coude à déviation arrondie.....	18
Figure.II.2. Coude à déviation brusque.....	18
Figure.II.3. Butée (a) et amarrage d'un coude (b).....	19
Figure.II.4. Coude -Diamètre 500mm.....	20
Figure.II.4. Maillage en éléments finis du Coude .....	22
Figure.II.5. Cotes piézométriques, 2 D, dans le cas d'une fermeture lente de la vanne...	22
.II.6. Cotes piézométriques, 3D, dans le cas d'une fermeture lente de la vanne.....	23
Figure.II.7. Concentration de l'air, 2D, après 4heures .....	23
Figure.II.7. Concentration de l'air, 3D, après 4heures .....	24

# Introduction générale



Les changements de direction dans les tracés des systèmes d’approvisionnement en eau potable s’imposent malgré la vulnérabilité de ces parties à la durabilité des conduites utilisées.

Delà, entre nécessité et vulnérabilité des sections coudées dans un réseau de transport d’eau, nous définissons une problématique des points de vue conception et fonctionnement dont l’influence se voit sur le comportement du système d’alimentation en eau potable en entier.

C’est dans ce cadre que s’inscrit l’objectif de notre mémoire de Master et pour l’atteindre, nous allons présenter et explorer le monde de fabrication des coudes avec leur diversité, dans le premier chapitre. Ce dernier va être consacré, en particulier, aux méthodes d’usinage des coudes.

A travers le second chapitre, nous présentons l’impact des sections coudées sur le fonctionnement du transport de l’eau.

En fin, nous achevons notre travail avec une conclusion générale.

# Chapitre I :

# Méthodes de fabrication des conduites coudées

## Chapitre I : Méthodes de fabrication des conduites coudées

### I.1. Introduction :

La réalisation d'un réseau de conduite d'eau potable, nécessite un assemblage de tuyaux par des coudes, ce qui en fait une conduite coudée. Dans ce contexte, nous tenons à explorer l'usage de ce type de conduite ou accessoire de différents points de vue

### I.2. Tracé d'un système d'alimentation en eau potable et ses contraintes

Outre l'instabilité des terrains, leur vulnérabilité à l'inondation et leur caractère de propriété privée ; les contrepenes comme les changements de direction contraignent le cours des tracés des réseaux d'adduction et de distribution de l'eau potable. D'où la nécessité de remédier à ces contraintes par l'optimisation du tracé d'une part et de recommander les accessoires nécessaires, parmi lesquels le coude s'impose et que nous proposons d'explorer dans ce qui suit.

### I.3. Définition des coudes

Les coudes sont des raccords à tubulures mâles ou femelles qui permettent-ils sont utiles surtout pour les réseaux maillés et ramifiés lorsque la conduite change de direction sur la tuyauterie. Généralement les coudes ou tés sont maintenus par des massifs de butée convenablement dimensionnés.

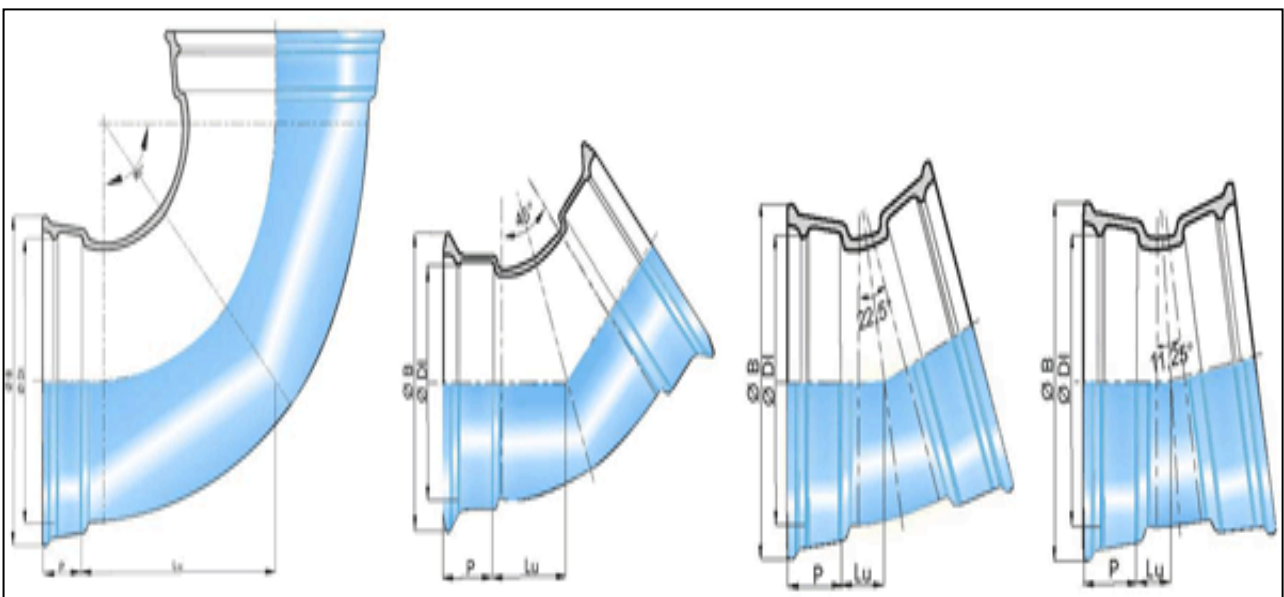


Figure.I.1. Ecoulement de l'eau dans un coude[17]

### I.4. Paramètres géométriques d'un coude

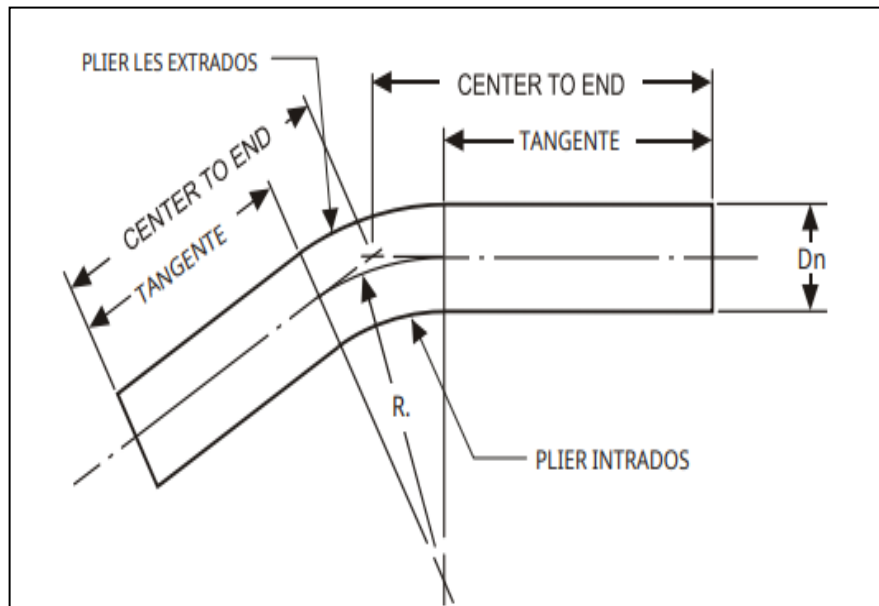


Figure.I.2. représentant les abréviations Eléments descriptifs d'un coude [11]

Dn = Diamètre extérieur nominal du tuyau.

R= Rayon de courbure de la ligne centrale

Les coudes à deux emboitements ou bien à un emboitement et bout lisse, ont des angles variables selon le besoin de la conduite que nous sommes réalisons, c'est-à-dire que les deux types de coudes se présentent avec un angle alfa.

### **I.5. Types de coudes**

Les coudes diffèrent selon :

#### **I.5.1 L'angle de déviation**

Il existe des coudes à 15°, 20°, 30°, 45°, 75°, 80°, 85°, 90° ou doubles, des coudes de renvoi, des coudes démontables à 45° et 90° etc.



Figure.I.3. les différents types de coudes [23]

### I.5.2 Le matériau de fabrication

Aux nombre de matériaux de canalisations se réfère celui des coudes, voir :

Acier, acier inoxydable, Fonte, PVC, PEHD, Béton,...

### I.6. Normes et tolérances de construction des coudes

Procédure de pliage, y compris le cycle de chauffage/refroidissement et le traitement thermique après cintrage sont déterminés par le matériau du tuyau, le diamètre, l'épaisseur de paroi, le rayon de courbure et les propriétés requises après cintrage. En raison des nombreuses variables impliquées, la procédure de pliage doit être déterminée par le fabricant.

Bien que l'équipement de pliage utilisé dans de nombreuses méthodes soit globalement le même, il peut y avoir des différences dans les procédures de pliage, les matériaux tolérances, jambes de maintien et de traction, épaisseur de paroi, etc., entre les fabricants de pliage [12]

Tenant compte de répondre à une fabrication de façon optimale, nous devons respecter ce qui suit :

- Les coudes doivent être dotés d'une tolérance d'angularité totale de  $\pm 0,5$  degrés, déterminée par l'intersection des lignes médianes tangentes mesurée par un équipement approprié [12] .
- Lorsque le fabricant doit fournir des coudes coupés à une dimension spécifiée du centre à l'extrémité, cela doit être conforme aux tolérances spécifiées dans le PFI ES-

- Si des parties intermédiaires du profil plié sont essentielles, leurs tolérances doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fabricant.
- L'ovalité d'un coude de tuyau ne doit pas dépasser l'ovalité requise par le code en vigueur. S'il n'y a pas de code régissant, la différence entre les diamètres maximum et minimum ne doit pas dépasser 8 % du diamètre extérieur moyen mesuré de la partie droite du tuyau, sauf accord mutuel entre l'acheteur et le fabricant. Lorsque les conditions de fonctionnement nécessitent moins d'ovalité, il peut être nécessaire d'utiliser des rayons plus grands, des parois de tuyaux plus lourdes ou une méthode de pliage spécifique qui permettra un contrôle plus précis de l'ovalité [06]

### I.7. Méthodologie de fabrication

Les coudes sont mis en œuvre par deux méthodes de pliage :

- Méthodes de pliage à chaud.
- Méthodes de pliage à froid.

Pour cette norme, une température inférieure de 100 degrés à la température critique inférieure du matériau est définie comme étant la limite entre le pliage à chaud et à froid.

#### I.7.1. Méthode de pliage au chaud

##### 2. Pliage au four

Dans cette méthode, le tube est étroitement rempli de sable puis chauffé dans un four à une température d'environ 2 000 degrés Fahrenheit. Après la sortie du four, une extrémité du tube reste dans le support et un moment de flexion est appliqué à l'autre extrémité.

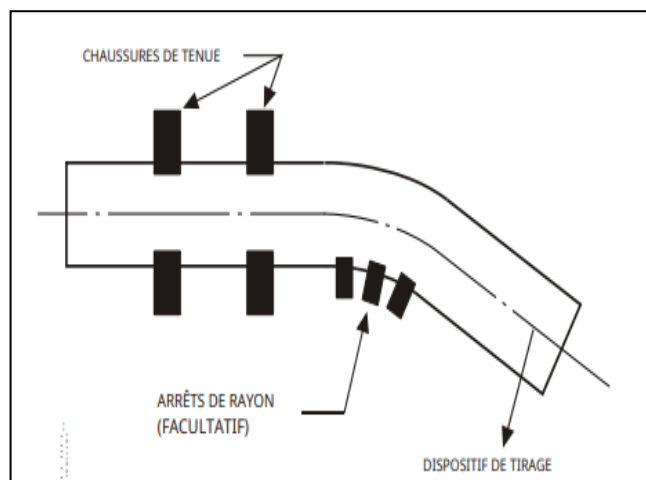


Figure.I.4. de Pliage au four [11]

### 3. Pliage incrémentaire

L'équipement de pliage progressif se compose d'une boîte d'ancrage, d'un vérin hydraulique et d'une unité de chauffage mobile. Le tuyau est serré à l'intérieur de la boîte d'ancrage, la tangente avant étant reliée au vérin hydraulique. Le dispositif de chauffage chauffe la bande circumférentielle étroite sur l'arc jusqu'à la température de courbure appropriée. Le vérin hydraulique applique ensuite une force pour plier les petits incréments d'une quantité prédéterminée. Le radiateur est ensuite déplacé vers des segments successifs et le processus est répété jusqu'à ce que l'arc souhaité soit obtenu. Après chaque incrément de pliage, refroidissez la zone chauffée comme l'exige la procédure de pliage appropriée [11]

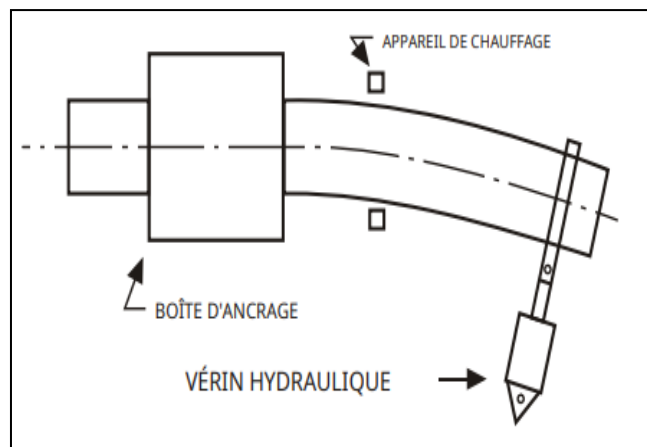


Figure.I.5. Pliage incrémentaire [11]

### 4. Pliage par induction

L'équipement de pliage par induction se compose de trois éléments de base : un banc de machine, un bras radial réglé au rayon souhaité et un système de chauffage par induction. Placez le tuyau dans le lit et connectez la tangente avant au bras radial. Les systèmes de chauffage par induction chauffent une bande circumférentielle étroite autour du tuyau à la température de pliage appropriée. Lorsque cette température est atteinte, le tuyau se déplace continuellement à travers le serpentin chauffant tout en appliquant un moment de flexion à la zone chauffée. Après avoir traversé le serpentin, le tuyau peut être refroidi de force ou naturellement, en fonction des exigences d'une procédure de pliage qualifiée appropriée.

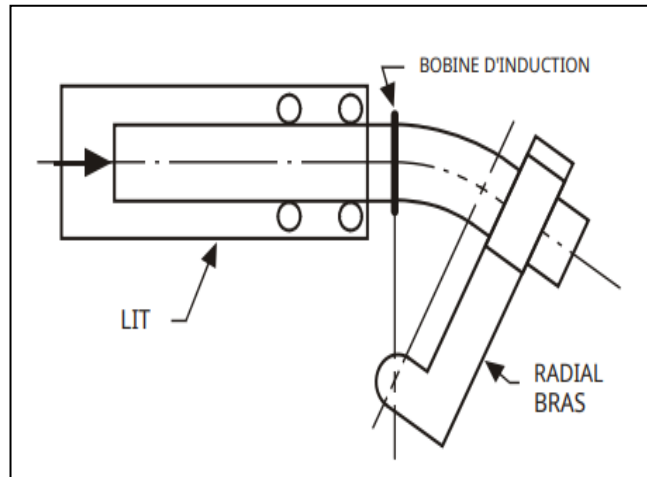


Figure.I.6. Pliage par induction[11]

### I.7.2. Méthodes de pliage à froid

#### 4. Pliage par étirage rotatif :

Dans ce procédé, le tuyau est fixé à une matrice de cintrage par une matrice de serrage. Lorsque la matrice de cintrage tourne, elle tire le tuyau contre la matrice de pression et, si nécessaire pour empêcher l'effondrement de la paroi, sur un mandrin interne. La matrice de pression peut rester fixe ou se déplacer avec le tuyau, voir figure ci-après.

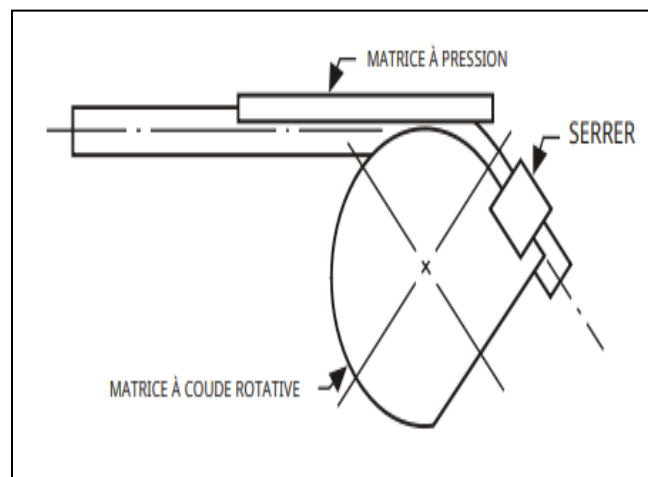


Figure.I.7. Pliage par étirage rotatif[11]

#### 5. Pliage de ram :

Lors du pliage par vérin, le tube est maintenu par deux matrices de support et la force est appliquée par un vérin hydraulique sur un sabot de formage situé au centre de la pièce.

Les moules de support tournent sur leurs broches de montage pour suivre le tuyau et maintenir un support externe partout [11]



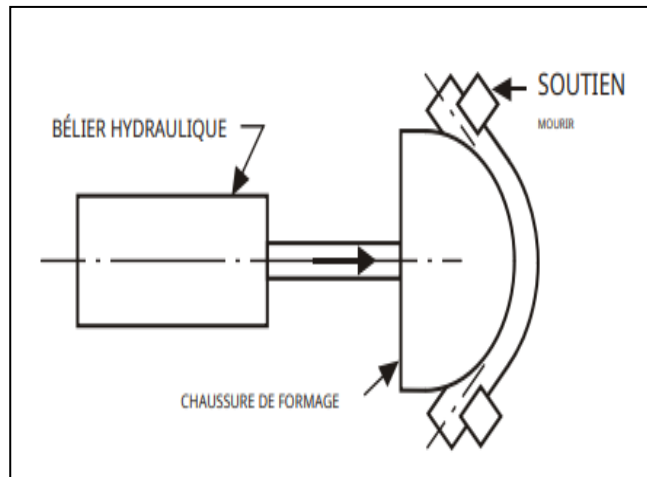


Figure.I.8. Pliage de ram [11]

### 6. Cintrage par rouleau :

Dans le cintrage par rouleaux, trois rouleaux de formage d'approximativement le même diamètre disposés en pyramide sont utilisés. Les deux rouleaux fixes s'opposent au rouleau central réglable. Le tuyau passe à travers les rouleaux avec la position du rouleau réglable contrôlant le rayon de courbure [11]

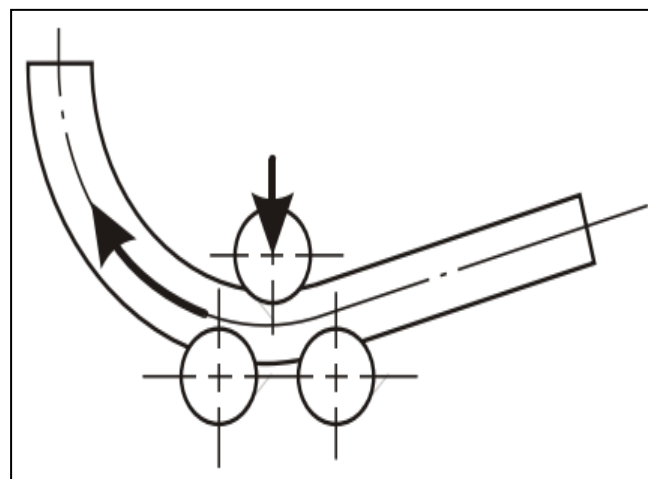


Figure.I.9:Cintrage par rouleau [11]

## I.8. Virages et Soudures des canalisations

Dans certains cas, nous sommes amenés à utiliser des tuyaux d'une longueur suffisante, ce qui ne satisfait pas à la longueur d'arc requise du coude. Dans ce cas de figure, il devient nécessaire de joindre des longueurs de tuyau, ce qui entraîne une soudure bout à

bout circonférentielle dans l'arc d'un coude de tuyau, les pratiques suivantes doivent être envisagées :

Les tuyaux à souder doivent être choisis de manière à garantir le raccordement le plus uniforme possible aux extrémités de raccordement. L'épaisseur de la paroi du tuyau ne doit pas être inférieure au minimum de conception plus la tolérance de courbure du tuyau.



Figure.I.10:Photo de soudure des conduites [23]

La préparation des extrémités pour le soudage doit être effectuée conformément au procédé de soudage qualifié à utiliser. Les dépressions internes doivent être évitées si possible. Lors du réglage du joint, le tuyau doit être tourné ou positionné si nécessaire pour garantir un mouvement minimal du diamètre intérieur et/ou extérieur et un ajustement optimal à travers la soudure.

La procédure de soudage doit être qualifiée conformément au code en vigueur pour les expositions thermiques (le cas échéant), à l'exception des pliages et traitement thermique.

Une fois la soudure bout à bout circonférentielle terminée, mais avant le pliage, le diamètre extérieur et le diamètre intérieur (si accessibles) de la soudure doivent être meulés pour éliminer l'excès de renfort de soudure et mélangés en douceur dans le métal de base

Il est de bonne pratique d'examiner la soudure bout à bout circonférentielle par radiographie avant et après le pliage, qu'une telle radiographie soit ou non requise par le code applicable

## I.9. Raccordement des coudes

Il existe trois façons de faire le raccordement des tuyaux : par filetage des tuyaux et raccords, par soudage et par assemblage (raccordement) par brides.

### **I.9.1. Les raccords filetés par filetage :**

C'est le cas des tuyaux en cuivre, fonte, acier et autres alliages. Bien que les tuyaux filetés puissent résister à toutes les pressions, ils sont principalement utilisés pour les tuyaux de petit diamètre, soit 75 mm et moins. Sachant que plus le diamètre du tuyau est grand, plus il est difficile de réaliser un bon raccordement fileté. [11]

### **I.9.2. Par raccords à brides**

Les raccords à brides sont couramment utilisés dans les canalisations et dans les systèmes de tuyauterie industrielle de gros diamètre. Le principal avantage de ce type de raccord est sa facilité de démontage et de remontage.



**Figure.I.11:** Photo de coude [22]

De plus, il comporte un joint d'étanchéité annulaire plat, serré entre les brides. On présente, à la figure suivante, les différents types de raccords à brides.

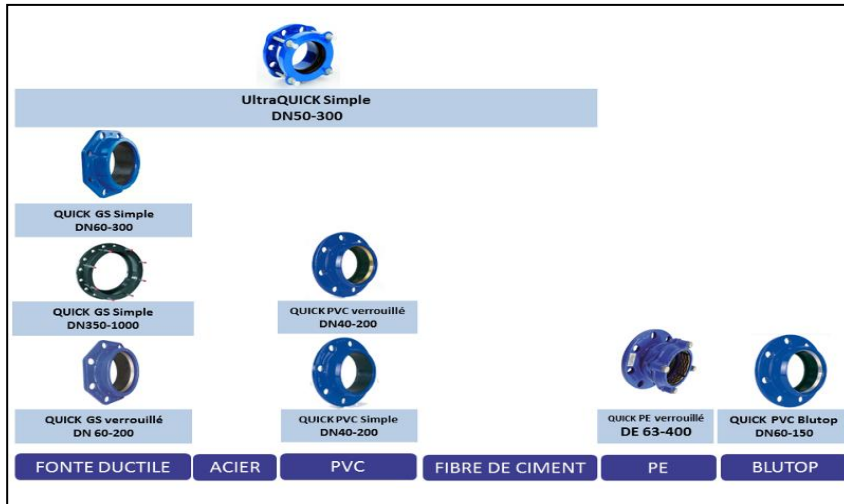


Figure.I.12 représentant les types de raccords [24]

### I.9.3. Raccords à bourrelets :

Les raccords à bourrelet sont les meilleurs et les plus résistants que les modèles ordinaires. En effet, les bourrelets, situés aux extrémités et au-dessus de la partie filetée, renforcent cette partie et empêchent que les raccords ne fendent lors du serrage sur le tuyau à filetage conique [19]

### I.9.4. Les raccords à soudage :

Les procédés de soudage applicables à la construction des réseaux neufs en PE sont :

- l'électro-soudage : Le principe du soudage à l'arc est d'utiliser l'arc pour augmenter la température jusqu'au point de fusion. Il s'agit de la chaleur générée par la résistivité du métal à travers laquelle passe le courant, élevant la température de la soudure jusqu'à la température nécessaire pour faire fondre le métal.
- le soudage bout à bout

### I.9.5. Les conditions d'assemblage [19]

- Ne pas créer aucune zone privilégiée de corrosion.
- Les assemblages et pièces de raccord ne doivent entraîner aucune lésion du tuyau.
- Les assemblages par filetage et les raccordements par collets battus sont interdits.
- Les assemblages des tuyaux en PEHD se subdivisent en deux familles :
- Les assemblages par soudage dont le principe général est la fusion
- Les assemblages mécaniques en laiton dont le principe est la compression du joint.

- L'assemblage par brides, doit respecter les conditions suivantes : Assurer la continuité de la conduite sans risque de rupture ou déboîtement (la conduite sera considérée comme auto butée) ; il doit aussi assurer l'étanchéité et la continuité des revêtements intérieurs et extérieurs, de telle sorte de ne

### **I.10. la perte de charge singulière dans les coudes**

Les pertes de charge singulières se produisent lorsqu'il y a une modification géométrique des conduites par lesquelles le fluide s'écoule. Ces modifications géométriques perturbent l'écoulement normal du fluide, peuvent provoquer le décollement du fluide des parois des différents tronçons, voire occasionner des tourbillons à l'intérieur de la conduite. Sont généralement recensés comme causes de perte de charge singulière les changements de direction ou de section des canalisations comme les coudes, les branchements et les raccords en T, les vannes et robinets, les appareils de mesure, les rétrécissements et variations de section, les clapets, filtres, diaphragme.

#### **I.10.1 Essais d'éclatement sur les coudes**

Nous étudions l'évolution de fissures jusqu'à rupture associées à la présence d'un défaut géométrique dans la paroi externe des coudes de tuyaux en polyéthylène haute densité suite à une augmentation de la pression interne. Cette étude est dédiée à l'influence de la localisation et de la profondeur du défaut sur la pression d'éclatement de l'articulation du coude. Pour déterminer la pression maximale que le coude peut supporter avant rupture, nous utilisons des coups de bélier pour simuler la pression interne. A cet effet, une campagne de d'essais sera réalisée sur des canalisations courbes. Comprend les étapes suivantes:

- Première étape : Préparation des échantillons, coudes, tubes, manchons etc.
- Deuxième étape : couper la partie coudée des assemblages, la station de concassage est essentiellement constituée d'une centrale hydraulique avec un débit débit de 250 bar, pouvant atteindre jusqu'à 1000 bar au multiplicateur de pression, composé de deux parties : la partie contient de l'huile de pompe hydraulique, la partie comprend de l'eau (liquide utilisé 250 bar, pouvant atteindre jusqu'à 1000 bar, grâce au multiplicateur pour pressuriser les réservoirs.
- Troisième phase : Réalisation des tests d'éclatement [04]

**I.11. Recommandations**

- 1- La présence d'un certain élément dans la canalisation (coude, vanne, réducteur, etc.) provoque des perturbations hydrauliques qui interrompent les mesures de la jauge montée directement derrière la canalisation.
- 2- Tous les éléments de la canalisation soumis aux forces de poussée hydraulique, tels que les coudes, les té, les cônes de réduction et les vannes d'arrêt ou de contrôle, doivent être ancrés dans une masse de béton qui assure leur stabilité. Si P (en Pa) est la pression d'essai sur site, la pression hydraulique F (en N) des différents composants est calculée à l'aide des formules suivantes [15] :


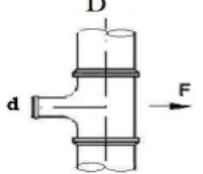
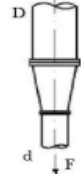
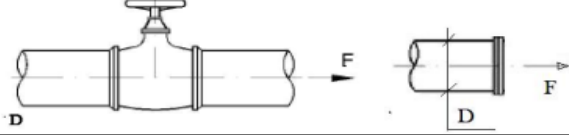
Coude	Té	Cône de réduction
		
$F = P \cdot (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot 2 \cdot \sin \theta / 2$ D = Diamètre intérieur. θ = Angle de déviation	$F = P \cdot (\pi \cdot d^2 / 4)$ d = diamètre intérieur de la dérivation.	$F = P \cdot (\pi \cdot (D^2 - d^2) / 4)$
Vanne et plaque pleine:		
		
$F = P \cdot (\pi \cdot D^2 / 4)$		

Figure.I.13 Poussées hydrauliques dans quelques pièces spéciales

- 3- Les raccordements par collets battus sont interdits.
- 4- Le PEHD est proscrit quand l'eau est désinfectée au dioxyde de chlore ou quand l'eau accumule une forte température et de fortes quantités de chlore.
- 5- L'assemblage par brides, doit respecter les conditions suivantes : Assurer la continuité de la conduite sans risque de rupture ou déboîtement (la conduite sera considérée comme auto butée) ; il doit aussi assurer l'étanchéité et la continuité des revêtements intérieurs et extérieurs,

**I.12. Conclusion**

A travers ce chapitre, nous avons présenté l'utilité des coudes dans la réalisation des projets d'alimentation en eau potable, leur classification selon la déviation et le type de matériau de leur conception et nous avons exploré leur méthodologie de fabrication.

# **Chapitre II :**

# **Impact des sections coudées**

# **sur le fonctionnement du**

# **transport de l'eau**

## Chapitre II : Impact des sections coudées sur le fonctionnement du transport de l'eau

### II.1.Introduction

Nous essayons, à travers ce chapitre, d'attirer l'attention concernant l'effet de l'emplacement d'un coude ou d'une conduite coudée sur l'écoulement de l'eau et dont les conséquences peuvent se voir sur la conception du système d'eau potable de manière globale.

Du fait de la complexité et l'instabilité qu'engendre ce type d'organe et le coude 90°, en particulier, qui s'avère le type le plus vulnérable [10] [08], pour l'écoulement à travers les réseaux d'alimentation en eau potable, plusieurs études de modélisation physique et mathématique ont été menée ces dernières années[06] [09]. D' autre part certains chercheurs se sont intéressés à l'étude des procédées de fabrications des coudes [17].

### II.2.Perte de charge due au coude

Utiliser un coude pour remédier à un problème de direction implique impérativement l'augmentation des pertes de charge à travers un écoulement d'eau. Cette dernière est proportionnelle au carré de la vitesse d'écoulement, elle est exprimée par :

$$\Delta h_{coude} = \xi_c \frac{v^2}{2g} \quad (II.1)$$

Avec :

$\Delta h_{coude}$  ; Perte de charge due singulière au coude

$\xi_c$  ; Coefficient de la perte de charge singulière

$v$  ; Vitesse de l'écoulement dans le coude

Mais, faisons la distinction, du point de vue type de changement de direction, entre les cas suivants:



### II.2.1. Déviation arrondie

Dans ce cas le coefficient de la perte de charge locale que provoque le coude est exprimé par diverses formules ; parmi lesquelles, nous citons :

**La loi de Hager [16]**

$$\xi_c = \frac{2\sqrt{2} \cdot \sin\left(\frac{\delta}{2}\right)}{(1+2 \cdot R/D_h)^2} \quad (\text{II.2})$$

Sachant que ;

$\delta$  est l'angle de déviation et que :

Le diamètre hydraulique d'une conduite circulaire avec section pleine '  $D_h$  ' est égale au diamètre de cette conduite '  $D$  '.

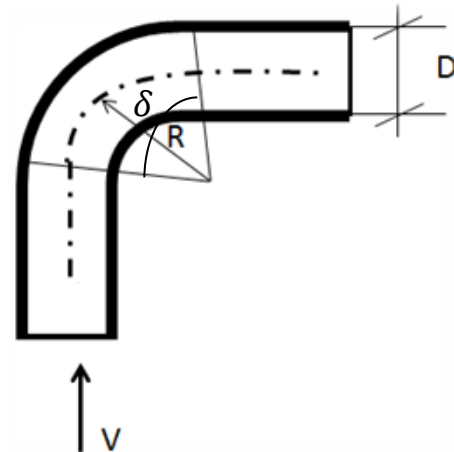


Figure.II.1. Coude à déviation arrondie

### II.2.2. Déviation brusque

Dans le cas d'une déviation à angle vif, l'expression de '  $\xi_c$  ' fait intervenir moins de paramètres, mais sa formulation diffère d'un auteur à un autre. Nous retenons [16]:

**La formule de Matthew :**

$$\xi_c = \frac{\sin(\delta) + \cos(\delta) - 1}{\cos(\delta)} \quad (\text{II.3})$$

**La formule de Hager :**

$$\xi_c = 2 \cdot [1 - \cos(3 \cdot \delta/4)] \quad (\text{II.4})$$

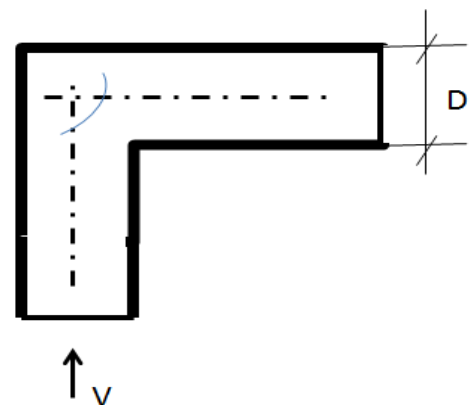


Figure.II.2. Coude à déviation brusque

**La formule de Idelèik :**

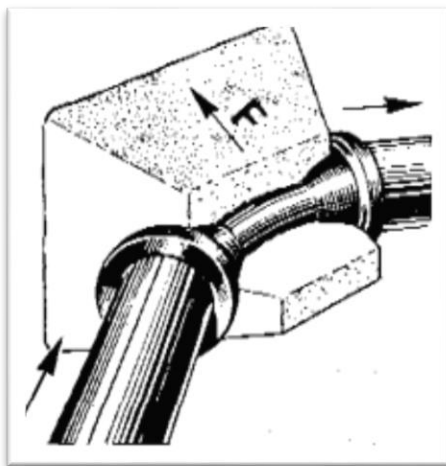
$$\xi_c = 0.95 * \sin^2(\delta/2) + 2.05 * \sin^4(\delta/2) \quad (\text{II.5})$$

D'une autre façon, le Coefficient de la perte de charge singulière du coude peut être déterminé, simplement, et de façon directe en fonction de la valeur de l'angle de déviation.

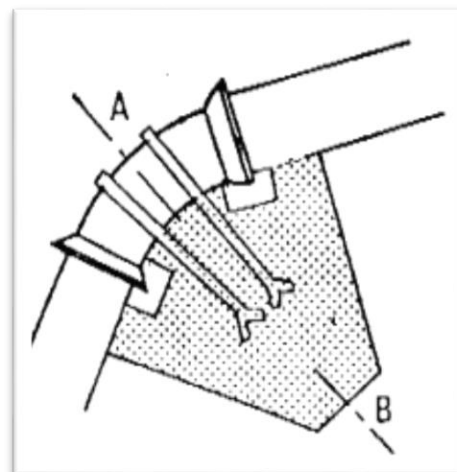
### II.3 Impact du coude sur la pose des canalisations

La poussée hydraulique 'F' tend à déboîter le coude vers l'extérieure. Pour faire face à ce problème, un massif de butée doit être réalisé. Arina Modrea, a présenté une étude développée sur ce sujet pour une détermination optimale de la forme et les dimensions de ce massif [02]

Mais si les conditions du site de pose ne le permettent pas, l'amarrage du coude constitue lui aussi une solution, comme le montre la figure ci-après.



(a)



(b)

Figure.II.3. Butée (a) et amarrage d'un coude (b) [07]

### II.3. Impact du coude sur les ondes du coup de bélier

Le coup de bélier est un phénomène transitoire qui peut apparaître lors d'une opération de régulation menée sur un réseau de conduites moyennant une vanne de contrôle qui peut induire

la propagation de perturbations de pression dans le système global[03]. Le coup de Belier peut survenir également suite à un accident qui se produit tel que l'arrêt brusque d'une pompe. En conséquence, le coup de béliet peut provoquer l'eclatement ou bien meme l'aplatissement des conduites et l'existence de pièces spéciale, tels que les coudes, ne peut que compliquer la situation.

La connaissance des réponses, par l'analyse du comportement du système d'alimentation en eau potable lors d'un coup de belier, contribue de façon efficace dans le contrôle des ondes pression pour protéger les composants du réseau. Dans ce contexte, les chercheurs ont proposé diverses méthodes ; Manabrea en 1858, Joukowski en 1898, Allievi en 1921 et Bergeron en 1950 [03]. Or, le sujet de recherche du coup de Belier reste ouvert et les études, dans ce domaine, continuent jusqu'à nos jours

### II.5. Impact du coude sur la distribution d'air

De l'air peut être contenu dans la conduite, il peut être entraîné par l'écoulement comme il peut s'attacher en poches près de la paroi et la section de la conduite joue un role important dans l'orientation de cette masse d'air d'où l'impact de la section coudée.

### II.6. Application n°1:

Dans cette partie, nous proposons d'étudier la variation

de pression due au coup de Béliet dans le cas de fermeture de la vanne. En utilisant la méthode méthode des éléments finis pour la discrétisation de notre domaine de calcul et moyennant la boite à outil des equations aux dérivées partielles de MATLAB Ra2014.



Figure.II.4. Coude -Diamètre 500mm. [21]

Considérons le coude 90° (PE100) de 500mm de diamètre nominal et de 19,1mm d'épaisseur avec une pression nominale de 6bars. La longueur de l'arc extérieur est de 0,393m et une longueur totale de la conduite de 5m.

Les équations de propagation des ondes dans un liquide

Sont [13][01] :

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (\text{II.6}) \quad \text{et} \quad \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \quad (\text{II.7})$$

Sachant que :

“h” représente la cote piézométrique d'un point donné, “V” la vitesse de l'écoulement à un instant donné. Alors que, “c” représente la célérité des ondes que nous calculons par la formule d'Allievi, comme suit [12] :

$$c = \frac{9900}{\sqrt{49 + \frac{k \cdot D}{e}}} \quad \text{II.8}$$

“K” est un coefficient qui dépend du type de matériau, “D” le diamètre de la conduite et “e” son épaisseur.

Considérons la célérité ;  $c = 356$  m/s, pour ce qui suit.

- Discrétisation du domaine de calcul

Il s'agit d'un maillage en 576 éléments triangulaires, avec 331 nœuds, dont la figure suivante est représentative :

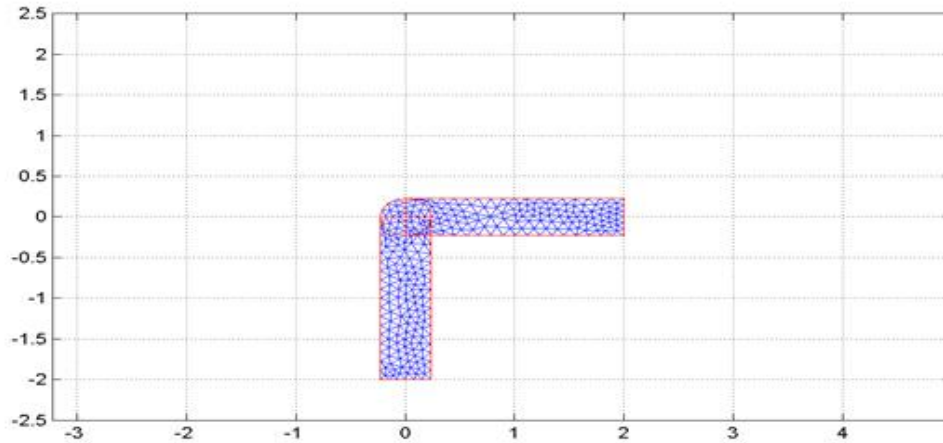


Figure.II.4. Maillage en éléments finis du Coude

- Résultats des solutions numériques :

Les résultats présentés dans la figure ci-après, correspondent au cas d'une fermeture lente de la vanne et pour un temps supérieur à celui de l'aller-retour de l'onde du coup de belier.

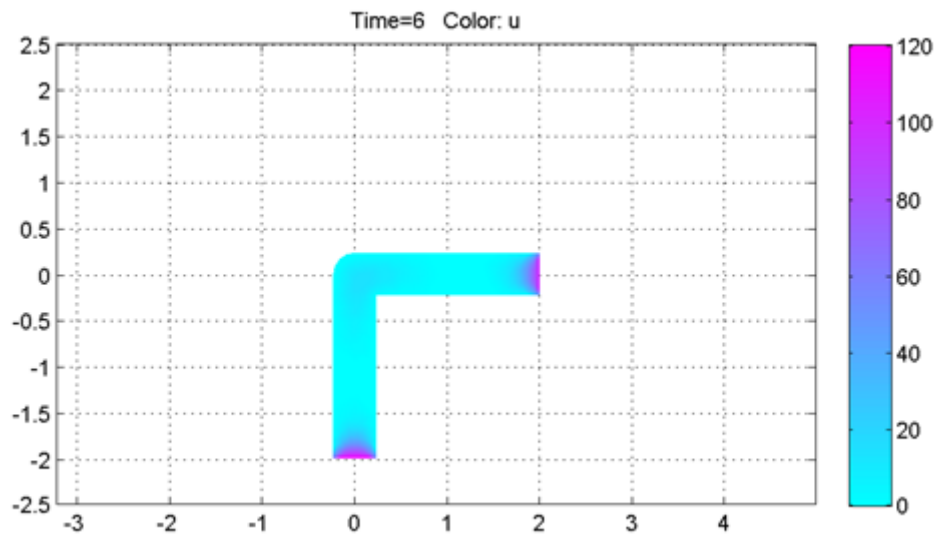


Figure.II.5. Cotes piézométriques, 2 D, dans le cas d'une fermeture lente de la vanne

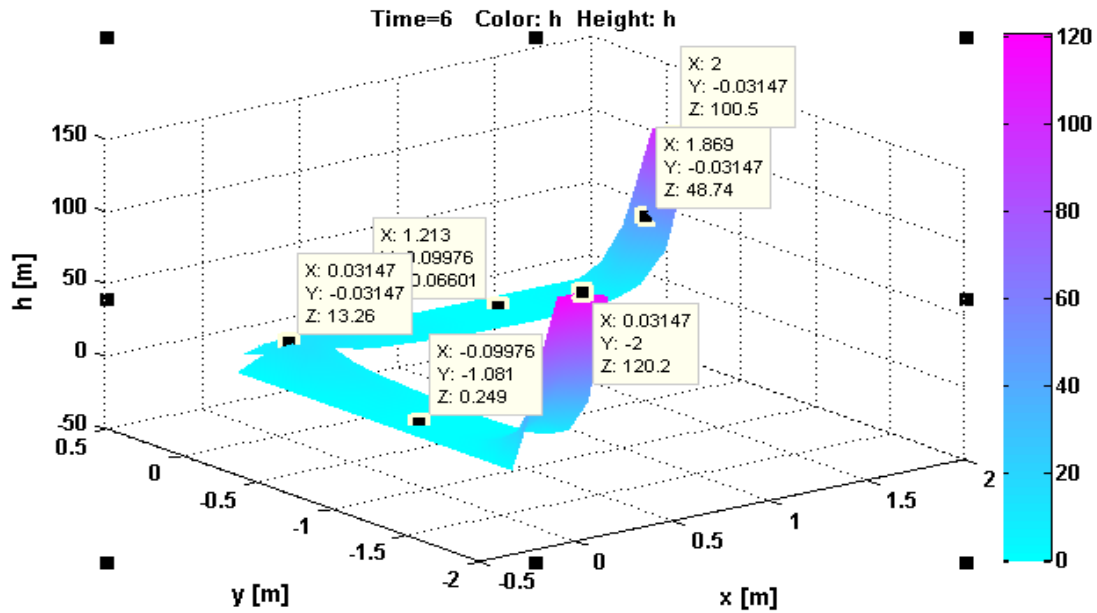


Figure.II.6. Cotes piézométriques, 3D, dans le cas d'une fermeture lente de la vanne

## II.7. Application n°2

Appliquons le modèle parabolique de la diffusion au même cas de coude, abordé dans l'application précédente, et examinons la distribution de la concentration de l'air le long de la conduite.

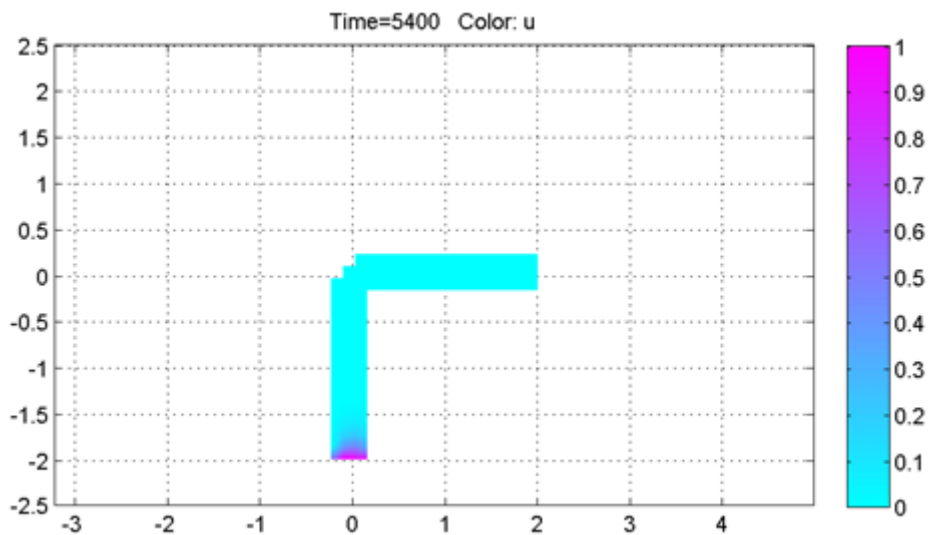


Figure.II.7. Concentration de l'air, 2D, après 4heures

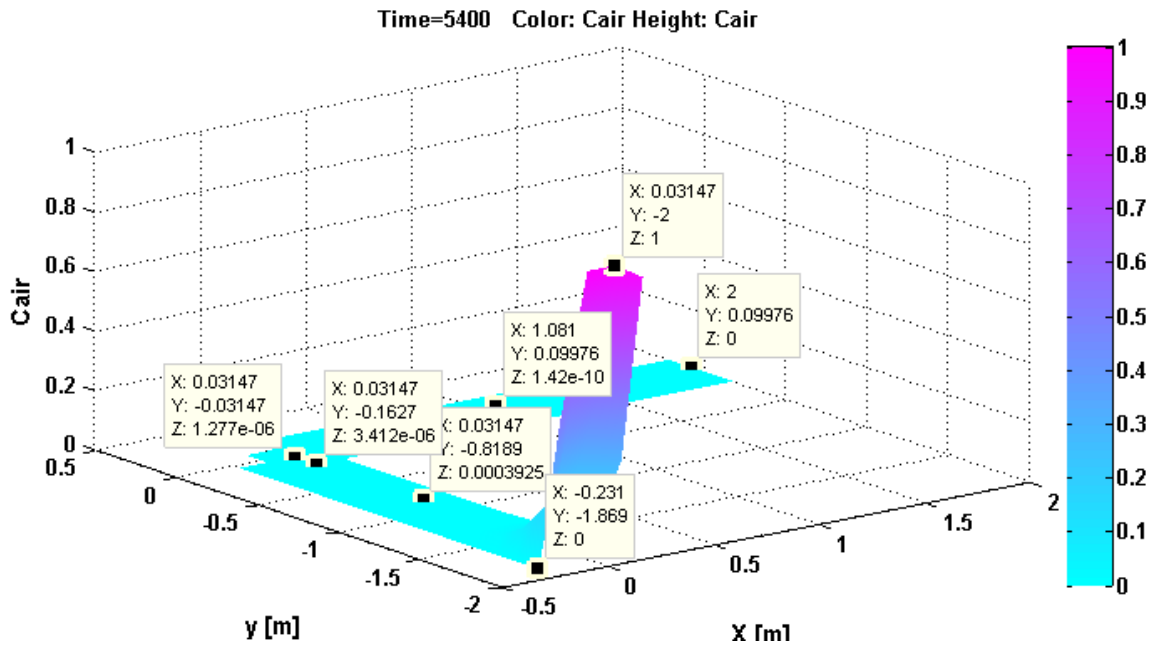


Figure.II.7. Concentration de l'air, 3D, après 4heures

## II.8. Discussion des résultats

D'après la figure. II.4, nous pouvons constater que le maillage au niveau du coude montre une irrégularité dans les frontières des éléments triangulaires. Cette discrétisation du domaine de calcul est valable pour les deux applications.

### II.8.1. Discussion des résultats du coup de Bélier

Concernant l'étude de la distribution des cotes des pressions, le temps de calcul de 6s est largement supérieur à  $(2*L/c)$  d'une part et la valeur maximale du coup de Belier (120,2m) est issue de la formule de Michaud pour une fermeture lente de la vanne. A l'extrémité aval de la conduite coudée (vanne) le débit est nul après fermeture de la vanne, nous supposons que la pression prendra la valeur en cas d'une section pleine.

Les résultats en 2D de la figure II.5, montrent que les pressions sont plus importantes aux extrémités et qu'à travers la partie coudée, elles augmentent après une diminution à proximité de l'entrée de la conduite.

la figure II.6, montrent les résultats en 3D, ou z représente la cote piézométrique. Ainsi, nous remarquons la cote de pression diminue de 120.2 m à l'entrée de la conduite à une valeur de

0.249m, puis elle atteint 13,26m au niveau de la section coudée ce qui rend la poussée hydraulique plus importante. Après le coude, la pression augmente régulièrement.

### **II.8.2. Discussion des résultats de la diffusion**

Pour une durée de quatre heures correspondant à un liquide au repos, par hypothèse, la concentration de l'air dans l'eau varie de sorte qu'elle diminue le long de la conduite. Or la partie haute de la courbure du coude n'a pas pu être prise en charge par le calcul, vu la qualité du maillage en cette partie, voir figure II.7. Cependant, la représentation des résultats en 3D, dans la figure.II.8, nous permet de remarquer qu'au niveau de la partie inférieure du coude la concentration de l'air est légèrement supérieure à celle de la partie du haut du coude.

### **II.9. Conclusion**

Ce chapitre contribue à une exploration de l'impact des sections coudées sur le fonctionnement hydraulique du réseau d'alimentation en eau potable. cela des points de vue ; perte de charge, pose, coup de Bélier et contenance d'air



# Conclusion Générale

## Conclusion Générale

---

En conclusion générale, nous constatons à travers notre modeste travail que le coude intervient dans un réseau d'alimentation en eau potable comme une pièce spéciale ou accessoire, alors qu'il jouit d'une fonction non négligeable, pour un écoulement continu et dans les meilleures conditions.

Malgré la simplicité de sa forme, son usinage se spécifie par la méthode adoptée pour son pliage; à chaud ou à froid et par le type de matériau utilisé pour sa fabrication.

L'angle de déviation, lui aussi, se voit distinctif entre un coude et un autre d'une part et de la vulnérabilité de l'un par rapport à l'autre d'autre part.

L'emplacement d'un coude impacte toute installation hydraulique de plusieurs points de vue, parmi lesquels, nous avons abordé :

Création de pertes de charge locales supplémentaire dont la formulation n'est pas unifiée

Adaptation des conditions de pose de canalisation au coude soit par butée ou amarrage de la conduite

L'instabilité de l'écoulement au niveau du coude, dont il faut tenir compte lors des calculs du régime transitoire

L'existence de la phase air dans le coude et sa contribution à la dégradation de ses parois.

Enfin, nous espérons avoir contribué à attirer l'attention sur le coude en tant que pièce spéciale mais en tant qu'organe principal d'un réseau d'adduction ou de distribution de l'eau potable

# Références bibliographiques

1. A.LENCASTRE. Hydraulique générale. 5ème Edition. Paris : Eyrolles. 2008, 633p. ISBN : 978-2-212-01894-3
2. A. Modrea et al. FEM Applied to Determine the Stress-strain Field in the Tubes of for the water supply networks. *Procedia Manufacturing*. 2019, Vol 32, pp: 187–193.
3. B.Salah. Etude du regime transitoire dans un réseau d'eau sous pression enterré. Thèse de Doctorat d'Etat : Hydraulique. Alger .Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 2002. 205 p.
4. Dallali Manel, (2017).Analyse de la sécurité et de la protection antibélier des conduites coudées d'adduction d'eau potable en polyéthylène haute densité. L'Université de Lorraine Et L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax, <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01761388/document>
5. <https://rabat.eregulations.org/media/GUIDE%20TECHNIQUE%20EAU%20VERSION%20MODIFIEE%20finMAI%202009.pdf>, consulté le 19/09/2023 à 02 :00
6. H. Xu et al. Bent pipe flow reconstruction based on improved ultrasound Doppler velocimetry and radial basis function neural network. *Flow Measurement and Instrumentation* . 2023, Vol 93, pp :01-13.
7. J.J. Beringue. La pose des canalisations pour l'adduction et la distribution de l'eau potable. Fondation de l'Eau, France. 1990. 75p
8. L. Ananya et al. Computational Analysis of Erosion Wear in Various Angle Bent Pipes. *Materials Today: Proceedings*. 2023, Vol 80, pp : 1150–1157.
9. L. G. Cheng et al. Defects detection in typical positions of bend pipes using low-frequency ultrasonic guided wave. *J. Cent. South Univ*. 2015, Vol 22, pp: 3860-386
10. N. Crawford et al. An Experimental Investigation into the Pressure Drop for Turbulent Flow 90° Elbow Bends. *Journal of Process Mechanical Engineering*. 2007, Vol 221(2), pp:77-88. <https://doi.org/10.1243/0954408JPME84>.
11. Pipe Fabrication Institute Engineering Committee. Pipe bending methods, tolerances, process and material requirements. 2010, *New York*, 10p. [www.pfi-institute.org](http://www.pfi-institute.org)
12. Pipe fabrication institute, (2010), pipe bending methods tolerance, process and matériel requirements
13. R.Bourrier. hydraulique appliquée. Antony: Le Moniteur, 2018, 1093 p. ISBN 978-2-281-14204-4

14. R.COMOLET. Mécanique Expérimentale des fluides. 3ème Edition. Paris : MASSON. 1979, 240p. ISBN :2-225-84535-2
15. Veola environnement . Guide technique eau, (2009),
16. W.Hager, A.J.Schleiss. Constructions hydrauliques. Lausanne: Presses Polytechniques Et Universitaires Romandes, 2009, 597 p. ISBN 978-2-88074-746-6
17. X. Guo et al. Numerical simulations and experiments on fabricating bend pipes by push bending with local induction-heating process. Int J Adv Manuf Technol. 2016, Vol 84, pp: 2689–269

### Site web

18. [fr.freepik.com/photos-premium/fer-souder-travailleur-combinaison-protection-masque-interieur-atelier\\_9568575.htm](http://fr.freepik.com/photos-premium/fer-souder-travailleur-combinaison-protection-masque-interieur-atelier_9568575.htm)
19. Types de raccords et accessoires, sd, my maxicours, <https://www.maxicours.com/se/cours/types-de-raccords-et-accessoires/>
20. [www.esq.nc/reseaux-publics-tp/les-reseaux-d-adduction-d-eau/les-pieces-de fontainerie](http://www.esq.nc/reseaux-publics-tp/les-reseaux-d-adduction-d-eau/les-pieces-de-fontainerie)
21. [www.groupe-chiali.com](http://www.groupe-chiali.com)
22. [www.holam.org/coude\\_bride.html](http://www.holam.org/coude_bride.html)
23. [www.ornitolink.com](http://www.ornitolink.com)
24. [www.pamline.fr/produits/solutions/robinetterie/montage-intervention/adaptateurs-brides](http://www.pamline.fr/produits/solutions/robinetterie/montage-intervention/adaptateurs-brides)