

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID

كلية التكنولوجيا



قسم الري

Faculté de Technologie

Département d'hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de  
Master en Hydraulique

Option : Eau, Sol et Aménagement ESA

***TRANSFERT DES EAUX A PARTIR DU BARRAGE DOUERA  
VERS LA ZONE OUEST D'ALGER***

Présenté par :

**M<sup>lle</sup> BELHARRANE Meryem**

**M<sup>lle</sup> DJEMAI Nour el Houda**

Soutenu le : Juin 2017 devant les membres du Jury :

**Mr M. ADJIM**

**Président**

**Mr A. SEDDINI**

**Examinateur**

**M<sup>me</sup> C. BOUKLI HACENE**

**Examinatrice**

**Mr B. ROUSSAT**

**Encadreur**

**Mr F. BENZERHOUNI**

**Co-encadreur**

**Année universitaire : 2016-2017**

## *DEDICACES*

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes chers frères, ZAKI, OUSSAMA et MOHAMMED AMINE, pour leur appui et leur encouragement.*

*A tous les membres de ma famille Petits et grands veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.*

*A mes chères sœurs, ARWA, KHOUIRA et ASMA pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral*  
*\* je vous adore \**

*A mon amie intime , ma sœur et mon binôme NOUR EL HOUDA merci pour ton soutien, ta patience, tes conseils et tes prières pour moi.*

*A mes chers collègues de la promo ESA spécialement*  
*\* Z \* A \* H \* S \* K \**

*B. Meryem*

*Merci* 

## *DEDICACES*

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère mère, Ta prière et ta bénédiction m'ont été  
d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour.  
Puisse Dieu, le tout puissant, te préserve et t'accorde santé,  
longue vie et bonheur.*

*J'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité  
et d'amour à mon binôme Meryem, à mes amies,*

*Je vous souhaite une avenir pleine de joie, de bonheur, de  
réussite et de sérénité.*

*Ma promo ESA présente dans tous mes bons moments.*

*A tous les membres de ma famille , petits et grands.*

*D. Nour El Houda*

*merci*

# Remerciement

*Avant tout nous remercions Le DIEU Le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Nous voudrions adresser toute notre gratitude a notre encadreur Mr. ROUISSET, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*nous voudrions aussi remercier Mr.BENZERHOUNI notre Co-encadreur qui nous a fourni les outils nécessaires à la réussite de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier Mr. BRAKENI Chef de département étude au sein de l'entreprise CHIALI pour sa patience, ses conseils pleins de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'il a porté à notre travail.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche et la mise en valeur de ce travail à travers leurs analyses et remarques.*

*Enfin, nous tenons également a remercier toutes les personnes qui ont participer de près ou de lion à la réalisation de ce travail.*

*B. Meryem*

*D . Nour El Houda*

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°1 : Epaisseur de revêtement extérieur en fonction des diamètres des conduites en acier .....	5
Tableau N°2 : Les épaisseurs des revêtements intérieurs en fonction du diamètres des conduites.....	6
Tableau N°3 : Type de ciment en fonction de fluide transporté.....	7
Tableau N°4 : Valeurs de MRS et pour les différents matières de PE.....	16
Tableau N°5 : Caractéristique des canalisations en polyéthylène.....	18
Tableau N°6 : Valeurs de la pression maximale en fonction du SDR.....	20
Tableau N°7 : Facteur de détimbrage selon la température.....	21
Tableau N°8 : Résistance et contrainte admissible fixe de polyéthylène.....	21
Tableau N°9 : Variation de coefficient de détimbrage en fonction de la température .....	26
Tableau N°10 : Tableau de synthèse.....	33
Tableau N°11 : Choix de la technologie de régulateur selon les conditions d'utilisation.....	37
Tableau N°12 : Formulations du coefficient de frottement f.....	53
Tableau N°13 : Variation des vitesses en fonction des diamètres.....	54
Tableau N°14 : Valeurs de K en fonction de la nature de conduite.....	61
Tableau N°15: Points hauts et points bas du transfert.....	72
Tableau N°16 : Reprise des calculs hydrauliques du transfert – côte retenue barrage 103 m NGA.....	73
Tableau N°17 : Dimensionnement hydraulique du transfert projeté par l'APD – côte retenue : 138 m NGA.....	75
Tableau N°18 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en BPAT n=0,5....	78
Tableau N°19 : Dimensionnement hydraulique du transfert - une conduite en Acier n=0,05.....	79
Tableau N°20 : Dimensionnement hydraulique du transfert - une conduite en Acier n=0,05 .....	80
Tableau N°21 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en Fonte ductile n=0,1.....	81
Tableau N°22 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en Fonte ductile n=0,5.....	82
Tableau N°23 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en Béton n=0,1...	83
Tableau N°24 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en béton n=0,25...	84
Tableau N°25 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en PRV n=0,029...	85
Tableau N°26 : Pressions nominales conjuguées aux longueurs aux longueurs des tronçons du transfert.....	88

Tableau N°27 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en BPAT n=0,5.....	91
Tableau N°28 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Fonte ductile n=0,1.....	93
Tableau N°29 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Fonte ductile n=0,5.....	95
Tableau N°30 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Acier n=0,05.....	97
Tableau N°31 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Acier n=0,5.....	99
Tableau N°32 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Béton n=0,1.....	101
Tableau N°33 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Béton n=0,25.....	103
Tableau N°34 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en PRV n=0,029.....	105
Tableau N°35 : Pression conjuguées aux longueurs des tronçons du transfert - Réducteur de pression amont.....	107
Tableau N°36 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en BPAT n=0,5.....	109
Tableau N°37 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en fonte ductile n=0,1.....	111
Tableau N°38 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en fonte ductile n=0,5.....	113
Tableau N°39 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Acier n=0,05.....	215
Tableau N°40: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Acier n=0,5.....	117
Tableau N° 41 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Béton n=0,1.....	119
Tableau N° 42 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Béton n=0,25.....	121
Tableau N° 43 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en PRV n=0,029.....	123
Tableau N° 44 : Pressions conjuguées aux longueurs des tronçons du transfert - Réducteur aval.....	125
Tableau N° 45 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en BPAT (PN10).....	126
Tableau N° 46 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en BPAT (PN12).....	127

Tableau N°47 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en BPAT (PN14).....	127
Tableau N°48: Calcul des coûts de fourniture et pose -Canalisation en PRV (PN10).....	127
Tableau N°49: Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation PRV (PN12).....	128
Tableau N°50 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation PRV (PN14).....	128
Tableau N°51 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Béton armé (PN10). .....	128
Tableau N°52: Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation Béton armé (PN12)...	129
Tableau N°53 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation Béton armé (PN14)...	129
Tableau N°54 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Fonte ductile (PN10). .....	129
Tableau N°55 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Fonte ductile (PN12). .....	130
Tableau N°56 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Fonte ductile (PN14). .....	130
Tableau N°57 : Calcul des coûts de fourniture et pose canalisation en Acier.....	130
Tableau N° 58: Coût d'investissement des variantes de transfert - Sans réducteur de pression. .....	131
Tableau N° 59: Coût d'investissement des variantes de transfert - Réducteur de pression amont. ....	132
Tableau N°60 : Coût d'investissement des variantes de transfert - Réducteur de pression aval. .....	134

## LISTE DES FIGURES

Figure N° 1 : Canalisation en acier.....	4
Figure N° 2: Différents couches d'une conduite en acier .....	7
Figure N° 3: Types d'assemblages des conduites en acier.....	8
Figure N° 4 : Conduites en fonte ductile.....	9
Figure N° 5: Canalisation en fonte ductile revêtue extérieurement en mortier de ciment. ....	10
Figure N° 6: Conduites en fonte ductile revêtue extérieurement en polyéthylène. ....	10
Figure N° 7: Conduite en fonte ductile revêtue extérieurement en polyuréthane. ....	11
Figure N° 8 : Assemblage par emboîtement par la barre à mine et godet d'excavation. ....	12
Figure N° 9 : Conduites en PRV. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 3
Figure N° 10: Conduite en PEHD. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 5
Figure N° 11: courbe de régression. ....	16
Figure N° 12 : Eléments de calcul du SDR. ....	17
Figure N° 13: Tube en PE aérien.....	17
Figure N° 14: Conduites en PVC. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 4
Figure N° 15: Raccords électro soudables d'une canalisation en PVC.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 7
Figure N° 16: constitution du tuyau en béton armé.....	29
Figure N° 17: Conduites en béton armé.....	30
Figure N° 18: Conduites en BPAT- fabrication à l'usine.....	31
Figure N° 19: Ames en tôle déjà testées contre les fuites et prêtes à l'emploi.....	32
Figure N° 20: Schéma d'une adduction gravitaire.....	35
Figure N° 21 : Composants d'un réducteur de pression.....	36
Figure N° 22 : Schéma d'une adduction par refoulement.....	38
Figure N° 23 : Types de pompage.....	40
Figure N° 24 : schéma d'un pompage d'eau.....	41

Figure N° 25 : Courbe de pompe $H = f(Q)$ .....	42
Figure N° 26 : Courbe de rendement.....	43
Figure N° 27: Courbe de puissance absorbé $P_{abs} = f(Q)$ .....	44
Figure N° 28: Point de fonctionnement d'une pompe.....	45
Figure N° 29 : Pompes en série.....	45
Figure N° 30 : Pompes en parallèle .....	46
Figure N° 31 : Amorçage sous pression.....	47
Figure N° 32: Amorçage par noyade.....	47
Figure N° 33 : Courbe de NPSH pour différents débits.....	49
Figure N° 34: Schéma d'une adduction mixte.....	55
Figure N° 35: Schéma de fonctionnement d'une ventouse.....	57
Figure N° 36 : Volant d'inertie.....	58
Figure N° 37 : Soupape de décharge.....	59
Figure N° 38: Installation type pour la protection d'une adduction contre le coup de bélier...60	
Figure N° 39 : Principe de réservoir d'air.....	63
Figure N°40: Besoins en eau des différents secteurs à l'horizon 2020.....	65
Figure N° 41: Evolution des besoins en eau dans la ville d'Alger.....	66
Figure N° 42: Système d'AEP de la wilaya d'Alger.....	67
Figure N°43: Tracé du transfert du barrage Douera vers Ouest d'Alger.....	68
Figure N°44 : Vue en aval sur le barrage de Douera.....	69
Figure N°45 : profil piézométrique du transfert – côte retenue barrage : 103 m NGA.....	74
Figure N°46 : profil piézométrique du transfert – côte retenue barrage : 138 m NGA.....	76
Figure N°47: Schéma du transfert.....	77
Figure N°48 : profils piézométriques pour les différents types de canalisations du transfert.....	87
Figure N°49 : Schéma du transfert – Réducteur amont.....	90

Figure N°50 : Profil piézométrique : Conduite en BPAT $n=0,5$ - Réducteur de pression amont.....	92
Figure N°51: Profil piézométrique : Conduite en Fonte ductile $n = 0,1$ - Réducteur de pression amont.....	94
Figure N°52 : Profil piézométrique : Conduite en Fonte ductile $n=0,5$ - Réducteur de pression amont.....	96
Figure N°53 : Profil piézométrique : Conduite en Acier $n=0,05$ - Réducteur de pression amont.....	98
Figure N°54 : Profil piézométrique : Conduite en Acier $n=0,5$ - Réducteur de pression amont.....	100
Figure N°55 : Profil piézométrique : Conduite en Béton $n=0,1$ - Réducteur de pression amont.....	102
Figure N°56: Profil piézométrique : Conduite en Béton $n= 0,25$ - Réducteur de pression amont.....	104
Figure N°57: Profil piézométrique : Conduite en PRV $n= 0,029$ - Réducteur de pression amont.....	106
Figure N° 58: Schéma du transfert – Réducteur aval.....	108
Figure N°59 : Profil piézométrique : Conduite en BPAT $n=0,5$ - Réducteur de pression aval.....	110
Figure N°60 : Profil piézométrique : Conduite en Fonte ductile $n = 0,1$ - Réducteur de pression aval.....	112
Figure N°61 : Profil piézométrique - Conduite en Fonte ductile $n=0,5$ - Réducteur de pression aval.....	114
Figure N°62 : Profil piézométrique : Conduite en Acier $n= 0,05$ - Réducteur de pression aval.....	116
Figure N°63 : Profil piézométrique : Conduite en Acier $n=0,5$ - Réducteur de pression aval.....	118
Figure N°64 : Profil piézométrique : Conduite en Béton $n=0,1$ - Réducteur de pression aval.....	120

Figure N°65 : Profil piézométrique : Conduite en Béton $n= 0.25$ - Réducteur de pression aval.....	122
Figure N°66 : Profil piézométrique : Conduite en PRV $n= 0,029$ - Réducteur de pression aval.....	124
Figure N°67 : Coûts des différentes variantes de canalisations du transfert - sans réducteur de pression.....	132
Figure N°68 : Coût des différentes variantes de canalisations du transfert - réducteur de pression amont - Plage inférieure de la rugosité.....	133
Figure N°69 : Coûts des différentes variantes de canalisations du transfert - réducteur de pression amont - Plage supérieure de la rugosité.....	133
Figure N°70 : Coût des différentes variantes de canalisations du transfert - réducteur de pression aval.....	134

## TABLE DES MATIERES

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Critères de choix des canalisations pour les transferts d'eau.</b>	
I. Introduction .....	3
II. Choix des canalisations .....	3
III. Conduites en Acier .....	4
III.1. Caractérisation .....	4
III.2. Revêtements des conduites en acier .....	4
III.3. Assemblages .....	7
III.4. Avantages des conduites en acier .....	8
IV. Conduites en fontes ductiles .....	9
IV.1. Caractérisation .....	9
IV.2. Revêtements .....	10
IV.3. Assemblages.....	12
IV.3.1.Emboîtement à la barre à mine (pour DN 80 à DN 15).....	12
IV.3.2. Godet d'excavation (pour tous les diamètres).....	12
V. Conduites en Polyester de fibre de verre.....	12
VI. Conduites en Polyéthylène haute densité (PEHD).....	13
VI.1. assemblage des tubes.....	14
VI.2. Caractéristiques des conduites en PEHD.....	15
VI.2.1 Résistance hydrostatique.....	15
VI.2.2. SDR (Standard Dimension Ratio).....	15
VI.2.3 Caractéristiques du polyéthylène .....	16
VI.2.4. Rugosité du polyéthylène.....	17
VI.2.5. Résistance chimique.....	18
VI.2.6. Influence du climat.....	19
VI.2.7. Influence de la température du fluide.....	20
VI.3. Résistance et contraintes admissibles.....	21
VI.4. Avantages des tubes PE.....	21
VI.4.1. Corrosion .....	21
VI.4.2. Abrasion.....	22
VI.4.3. Autobutage.....	22

VI.4.4. Ductilité et flexibilité.....	22
VI.4.5. Résistance aux coups de bélier.....	22
VI.4.6. Etanchéité.....	22
<b>VII. Canalisations en PVC ou Polychlorure de vinyle .....</b>	<b>23</b>
<b>VII.1. Raccords PVC</b> <b>Erreur ! Signet non défini.</b> .....	24
VII.2. Raccords métalliques.....	24
VII.3. Caractéristiques.....	25
VII.3.1. Tenue à la corrosion.....	25
VII.3.2. Le détimbrage des pressions.....	25
VII.4. Caractéristique hydraulique .....	26
VII.4.1 Pertes de charge.....	26
VII.4.2. Coups de bélier .....	27
VII.5. Technique d'assemblage.....	27
VII.5.1 Electro soudage.....	27
VII.5.2. Soudage bout à bout.....	28
VII.5.3. Assemblages mécaniques.....	28
<b>VIII. Tuyaux en Béton armé .....</b>	<b>28</b>
VIII.1. Caractéristiques.....	29
VIII.1.1. Tenue à la corrosion.....	29
VIII.1.2. Caractéristiques hydrauliques.....	29
VIII.1.3. Gamme de tuyau.....	29
VIII.1.4. Avantage.....	29
VIII.1.5. Inconvénients .....	30
VIII.2. Tuyaux en amiante-ciment .....	30
VIII.3. Conduites en béton précontraint à âme tôle (PBAT).....	30
VII.3.1. Fabrication de l'âme en tôle et de l'armature .....	31
VII.3.2. Mise en œuvre du béton .....	31
<b>IX. Tableau de synthèse .....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>33</b>
 <b>Chapitre II : Conception et dimensionnement des canalisations pour transferts d'eau.</b>	
I. Introduction .....	34
II. Types des transferts .....	34

II.1. Adduction gravitaire .....	34
II.1.1. Réducteur de pression.....	35
II.2. Adduction par refoulement .....	37
II.2.1.Pompes.....	38
II.2.2. Diamètre économique	
II.2.3. Vérification de la vitesse d'écoulement	
II.3. Adduction mixte .....	55
II.4. Perte de charge	
II.5. Equipement en ligne .....	56
II.5.1.. Vidange	
II.5.2. Ventouse	
II.5.3. Protections contre le coup de bélier	
Conclusion .....	<b>64</b>
<b>Chapitre III : Etude du transfert du barrage Douera vers la zone ouest d'Alger.</b>	
I. Situation de l'eau potable de la ville d'Alger .....	<b>65</b>
II. Objectif du transfert a partir du barrage .....	<b>67</b>
III. Description du transfert .....	<b>67</b>
III.1. Barrage Douera.....	68
III.2. Conduite de transfert .....	69
IV.2. pertes de charge .....	70
IV.2.1. Pertes de charges linéaires.....	70
IV.2.2. Pertes de charges singulières .....	71
IV.2.3. Profil du transfert.....	71
IV.2.4. Reprise des calculs hydrauliques du transfert : côte retenue du barrage 103.00 m NGA.....	71
IV.2.5. Reprise des calculs hydrauliques du transfert avec une côte retenue dans le barrage 138 m NGA.....	74
V. Variantes du transfert proposées .....	<b>76</b>
V.1.Calculs hydrauliques.....	76
V.2. Profils piézométriques des variantes de transfert .....	86
V.3. Analyse des profils piézométriques .....	88
VI. Contrainte de raccordement hydraulique au niveau de la saturation SAA.....	<b>88</b>
VII. Solutions de raccordement .....	<b>89</b>
VII.1. Descriptif.....	89
VII.2. Calculs hydrauliques .....	89

VII.2.1. Réduction de pression amont .....	89
VII.2.2. Réducteurs de pression aval .....	107
VIII. Etude économique comparative .....	<b>126</b>
VIII.1. Evaluation des prix de revient .....	126
VIII.2. Synthèse de l'analyse économique.....	131
Conclusion .....	<b>135</b>
Conclusion générale .....	<b>136</b>

## **LISTE DES ABREVIATION**

**ACS** : Attestation de Conformité Sanitaire

**AHS** : Agence du bassin Algérois - Hodna – Soummam

**BD** : Barrage Douera

**BPAT** : Béton Précontraint à Ame Tôle.

**CHF** : Ciment de Haut Fourneau

**DN** : Diamètre Nominale.

**DE**: Diamètre Economique.

**HMT** : Hauteur Manométrique Total.

**MRS** : Contrainte Minimale Requise

**NGA** : Nivellement Général Algérien

**NSPH** : Net Positive Suction Head

**PN** : Pression Nominale.

**PEHD** : Polyéthylène Haute Densité

**PMA** : Pression Maximale Admissible

**PEBD** : Polyéthylène Basse Densité

**PVC** : Polychlorure de Vinyle

**PRV** : Polyester de Fibre de Verre

**PFA** : Pression de Fonctionnement Admissible

**SDR** : Standard Dimension Ratio

**SAA** : Sécurisation d'Alimentation Alger

## **Introduction générale**

Les ressources en eau possèdent souvent un caractère épars géographiquement et temporellement. Les zones démunies en potentialités hydriques locales ont souvent besoin d'un apport d'autres zones.

La population de la ville d'Alger comptait 2 562 373 habitants en 2002. Tenant compte du taux d'accroissement, cette population atteindra 3 680 823 habitants en 2020. D'après les données recueillies au niveau de l'agence du bassin algérois - Hodna - Soummam AHS, les besoins en eau à l'horizon 2020 pour les différents secteurs seront de 590,5 Hm<sup>3</sup>

Toute fois, la zone ouest regroupant les communes de douera, Baba Hassen, Draria, El Achour, Ouled Fayet, Dely Brahim, Beni Messous et Bouzerréah connaît relativement, aux autres zones, des déficits importants en terme d'approvisionnement en eau potable.

La conduite de transfert d'AEP est projetée dans le cadre de l'utilisation du barrage de DOUERA pour renforcer l'approvisionnement en eau potable des zones à l'ouest de l'agglomération d'Alger. Le piquage se fait sur la conduite à l'amont de la chambre des vannes et le raccordement se fait au niveau de la station de traitement existante SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger (Tassala, Merdja).

Le projet initial dans le cadre de son avant projet détaillé APD stipulait un transfert gravitaire depuis le barrage Douera jusqu'au piquage au niveau de la station SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger. Le niveau d'eau considéré pour la conception du transfert dans le barrage est le niveau 103 m NGA. La conduite projetée initialement est du type BPAT de diamètre intérieur 800 mm.

Lors du lancement des travaux de réalisation du transfert, il s'est avéré qu'une anomalie a été enregistrée sur le niveau d'eau dans le réservoir du barrage pris comme référence. La côte de la retenue normale s'établissait à un niveau 138 au lieu de 103 m NGA.

Le travail engagé dans le présent mémoire consiste, dans une première phase, à reprendre les calculs hydrauliques du transfert en considérant un niveau d'eau dans la retenue de 138 m NGA correspondant au niveau de retenue normale, de dresser le profil piézométrique du

transfert afin de vérifier les pressions nominales des canalisations BPAT projetées en PN10 et analyser l'influence du niveau de la retenue arrêtée sur le profil piézométrique du transfert.

Dans une seconde phase, il est proposé d'introduire par substitution de la conduite BPAT projetée, plusieurs variantes de canalisations et d'étudier l'influence du type de canalisations sur les profils piézométriques du transfert. Les canalisations faisant l'objet de l'étude des variantes sont : Acier, Fonte ductile, Béton et PRV. Il a été également considéré deux catégories de rugosité pour les canalisations afin de juger l'influence de leur vétusté sur les paramètres hydrauliques.

Aussi, et afin d'assurer une pression d'entrée à la station SAA,  $P \leq 1$  bars, dicté par le processus de traitement, il a été proposé de réguler la pression du transfert pour cet objectif. Deux solutions ont été envisagées: réduction de pression amont (sortie barrage), réduction de pression aval (entrée SAA).

L'élaboration des études pour l'ensemble des variantes transferts à partir du barrage Douéra ne pouvait se faire sans une revue bibliographique liée à l'ensemble des paramètres, critères de choix des types de canalisation et installations des transferts d'eau ainsi que la démarche de conception et de dimensionnement des transferts d'eau potable. Cette partie était d'un grand intérêt pour la compréhension et la maîtrise des aspects de dimensionnement et de conception des transferts d'eau.

Les différents profils piézométriques élaborés pour l'ensemble des variantes de transfert et en fonction de la rugosité des conduites ont permis l'évaluation des pressions nominales des canalisations combinées aux longueurs des tronçons. Ces informations ont été à l'origine de la production de la balance économique comparative entre les variantes.

Pour réaliser tout ce travail, fort intéressant pour la clôture de notre formation, le mémoire a été structuré en trois chapitres à savoir :

- **Chapitre I** : Critères de choix des canalisations pour les transferts d'eau,
- **Chapitre II** : Conception et dimensionnement des canalisations pour transferts d'eau,
- **Chapitre III** : Etude du transfert du barrage Douera vers la zone ouest d'Alger.

## I. INTRODUCTION

Littéralement, les transferts d'eau représentent le transport d'un volume d'eau d'un lieu géographique vers un autre, souvent d'un lieu de captage vers un lieu de distribution et d'utilisation. Ces ouvrages sont composés d'un moyen de transport (canalisation ou canal), d'un moyen de propulsion (gravité ou pompage) et d'éventuels ouvrages intermédiaires de prise d'eau, de stockage ou/et de régulation/sécurisation.

Ils peuvent se caractériser sous différentes échelles (débits, distance...) et remplir des objectifs qualitatifs et/ou quantitatifs.

## II. CHOIX DES CANALISATIONS

Le choix entre les matériaux est établie sur des paramètres de décisions tel que:

- Agressivité de l'eau,
- Agressivité de sol,
- Revêtement intérieur des canalisations,
- La nature géologique du terrain,
- Déformation du sol et séisme,
- Le type d'assemblage,
- Les pressions,
- Les critères économiques: le prix de fourniture, de transport, de pose et la durée de vie de la conduite,
- Type de fluide à transporter.

On distingue les conduites selon les matériaux principaux aux quels on fait appel pour en constituer la structure. Les matériaux les plus fréquemment utilisés sont:

- Acier,
- PEHD,
- PVC,
- Fonte,
- Béton comprimé, armé, précontraint ou fretté,
- BPAT,
- PRV.

### III. CONDUITES EN ACIER

#### III.1. Caractérisation

L'acier utilisé dans la fabrication des conduites est l'acier doux, soudable. Les conduites peuvent être obtenues, soit par laminage à chaud sans soudure, à partir d'un bloc de métal transformé peu à peu par plusieurs laminages sur mandrin (jusqu'à diamètre de 400mm), soit à partir de tôles mises en forme à la machine et soudées longitudinalement à l'arc électrique (du diamètre 350mm et au-dessus), soit, encore à partir de bandes enroulées (du diamètre de 0.150m jusqu'au diamètre de 600mm).

Les conduites en acier sont réalisées avec des longueurs de 6m à 16m, et d'épaisseurs qui varient entre 3 et 9mm. Les conduites sont testées en usines à des pressions de 40 bars à 60 bars [1].



Figure N°1 : Canalisation en acier

#### III.2. Revêtements des conduites en acier

Le revêtement extérieur des tubes est composé, conformément aux normes, de trois couches, appliquées sur le tube préalablement grenailé et chauffé par induction.

La première couche est constituée d'un film de résine époxydique en poudre d'une épaisseur de 50 microns, dotée d'excellentes propriétés de résistance chimique. La deuxième couche est un copolymère d'une épaisseur d'environ 250 microns, destiné à assurer une parfaite

adhérence entre la première et la troisième couche. La troisième couche est constituée d'un revêtement en polyéthylène ou polypropylène extrudé, dont l'épaisseur dépend du diamètre du tube. Le revêtement tri-couche ainsi réalisé confère aux tubes :

- Une très bonne résistance aux chocs et au poinçonnement,
- Une inertie chimique élevée,
- Une très grande rigidité diélectrique, particulièrement appréciable en présence de courants vagabonds et/ou de sols corrosifs,
- Une importante stabilité dans le temps.

Afin d'accroître la protection mécanique du tube et de permettre une pose de celui-ci directement sur un fond de fouille non préparé et l'utilisation de remblais non calibrés, ce revêtement peut-être complété par une couche de mortier de ciment armé de fibres de polyéthylène, dont l'épaisseur sera fonction des contraintes de mise en place de la canalisation.

Le tableau N°1 montre les différentes épaisseurs de revêtements extérieurs en fonction des diamètres des conduites:

*Tableau N°1: Epaisseur de revêtement extérieur en fonction des diamètres des conduites en acier.*

<b>Revêtement extérieur</b>	<b>Polyéthylène</b>	<b>Polypropylène</b>
<b>DN en mm</b>	<b>Epaisseur en mm</b>	<b>Epaisseur en mm</b>
100	1,2	1,2
125 à 250	2,0	1,5
300 à 500	2,2	1,8
600 à 750	2,5	2,0
DN>750	3,0	2,5

Le revêtement intérieur des tubes est réalisé en mortier de ciment ou en époxy.

Le tableau N°2 illustre toutes les caractéristiques de la fabrication des conduites en acier pour des diamètres allant de 100 à 1200 mm.

*Tableau N°2: Les épaisseurs des revêtements intérieurs en fonction du diamètres des conduites.*

<b>DN (mm)</b>	<b>DE (mm)</b>	<b>Epaisseur de la paroi d'acier en (mm)</b>	<b>Longueurs du tube (m)</b>	<b>Epaisseur min de revêtement mortier de ciment (mm)</b>	<b>Epaisseur min de revêtement polyéthylène (mm)</b>	<b>Poids au mètre de tube revêtu Int et ext (kg/m)</b>	<b>PFA (Bar)</b>
100	114.3	3.6	6-14	3	1.8	15	65
125	139.7	3.6	6-14	3	2	20	78
150	168.3	4.0	6-14	3	2	23	72
200	219.1	4.0	6-14	3	2	33	55
250	273	4.0	6-14	3	2	40	44
300	323.9	4.0	6-14	3.5	2.2	45	37
350	355.6	4.5	6-14	3.5	2.2	60	39
400	406.4	5.0	6-14	3.5	2.2	73	38
450	457.2	5.0	6-14	4.5	2.2	85	32
500	508	5.0	6-14	4.5	2.2	92	25
600	610	5.6	6-14	6	2.5	130	24
700	711	6.3	6-14	6	2.5	164	23
800	813	7.1	6-14	8	3	219	22
900	914	8.0	6-14	8	3	266	22
1000	1016	8.8	6-14	10	3	333	22
1100	1118	10.0	6-14	10	3	417	23
1200	1219	11.0	6-14	12	3	485	23

Appliqué par centrifugation sur la paroi intérieure du tube suivie d'une mise en rotation de celui-ci, le mortier de ciment a notamment l'avantage d'assurer une protection active du corps en acier du tube par passivation du métal ainsi qu'une faible rugosité et une grande résistance à l'abrasion.

Le choix du type de ciment est déterminé en fonction de la nature du fluide transporté comme le montre le tableau N°3.

Tableau N°3: Type de ciment en fonction de fluide transporté.

Produit transporté	Conduite sous pression	Conduite gravitaire
Eau potable	Ciment portland	-
Eau de pluie	Ciment de haut fourneau	Ciment de haut fourneau
Eau de rejets domestique	Ciment de haut fourneau	CHF avec fibres synthétiques
Eaux usées d'origine communale et industrielle	CHF avec fibres synthétiques	CHF avec fibres synthétiques

Appliqué par pistolet sur la paroi interne du tube préalablement grenailée, le revêtement en époxy de qualité alimentaire liquide d'une épaisseur de 300 microns a l'avantage d'assurer, grâce à son inertie chimique, une bonne tenue vis-à-vis d'eaux agressives, une excellente adhérence sur le tube et une importante résistance à l'abrasion.

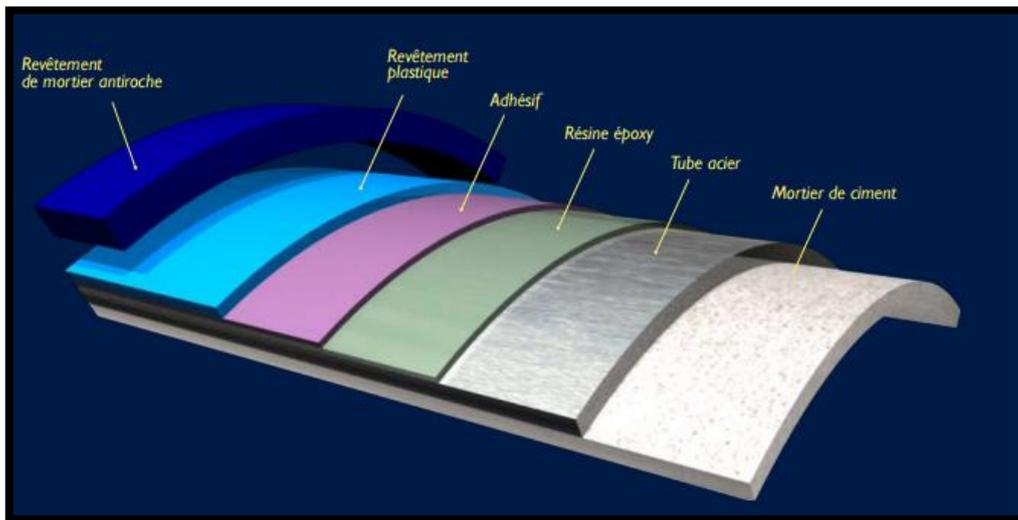


Figure N°2: Différents couches d'une conduite en acier

### III.3. Assemblages

Les conduites en acier n'ont pas besoin, de posséder de joints présentant une certaine élasticité. L'élasticité de la conduite elle-même est suffisante pour prêter aux efforts divers auxquels les canalisations sont exposées en services.

L'assemblage des conduites en acier est réalisé par plusieurs systèmes, on distingue:

- **Joint "S" ou slip-joint**, dans lequel une extrémité de la conduite présente un emboîtement ou vient se loger l'extrémité lisse de la conduite suivante. Il ne reste qu'à exécuter une soudure d'angle circulaire.
- **Joint soudé bout à bout**, qui se pratique surtout sur les conduites de diamètre supérieur à 150 mm. Les extrémités des conduites sont calibrées puis chanfreinées. La soudure s'effectue circulairement sur les deux extrémités que l'on rapproche jusqu'au contact.

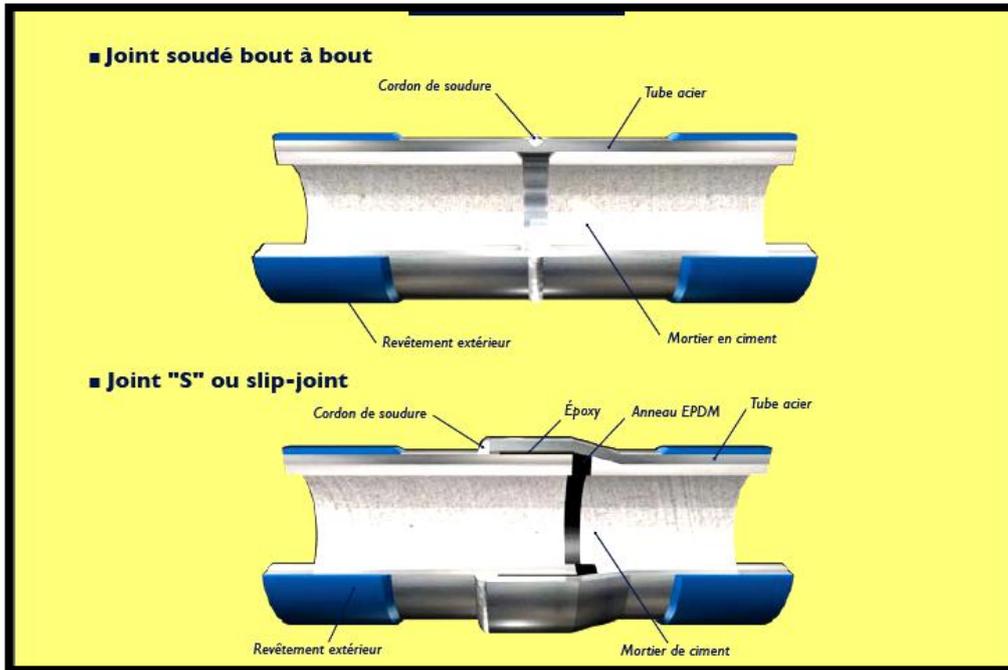


Figure N°3: Types d'assemblages des conduites en acier.

#### III.4. Avantages des conduites en acier

L'acier est le matériau permettant de répondre économiquement aux contraintes techniques les plus fortes. Les performances du tube en acier, sa résistance aux pressions et aux sollicitations mécaniques varient selon l'épaisseur et la nuance d'acier utilisé. Le revêtement intérieur en mortier de ciment appliqué par centrifugation offre d'excellentes qualités de résistance à la corrosion chimique et d'hydraulicité. Le revêtement extérieur réalisé par application d'un polyéthylène ou polypropylène tri-couche permet d'assurer une protection anticorrosion élevée grâce à une grande inertie chimique et une forte rigidité diélectrique, particulièrement adapté aux sols corrosifs. L'élasticité de l'acier et l'assemblage par soudure confère à l'ensemble de la canalisation une aptitude à résister aux sollicitations auxquelles elle est soumise grâce à :

- Une continuité totale de la résistance mécanique sans point faible aux joints, permettant notamment de s'affranchir des butées,
- Une étanchéité parfaite et durable sans risque de rupture aux joints,
- Une flexibilité continue de la conduite assurant une excellente tenue lors des mouvements de terrain [2].

#### **IV. LES CONDUITES EN FONTE DUCTILE**

##### **IV.1. Caractérisation**

L'ajout d'une certaine quantité de magnésium à la fonte grise provoque la cristallisation du carbone sous forme de sphères également appelés nodules.

Dans la fonte ductile, les particules de graphite apparaissent comme de petites sphères cristallisées due à l'introduction de magnésium dans une fonte de base d'excellente qualité. Ces sphères éliminent tout risque de propagation des ruptures. Elle est «ductile» et résistante.

La fonte ductile présente les propriétés mécaniques suivantes:

- une élasticité de  $Re \geq 270$  Mpa
- une résistance à la traction de  $Rm \geq 420$  Mpa
- une excellente résistance aux chocs
- une capacité importante d'allongement supérieure à 10 %

Ces propriétés extraordinaires permettent une durée de vie pouvant dépasser largement les 50 voire 100 ans à condition que les instructions de mise en œuvre soient respectées. Les conduites en fontes ductile résistent à des pressions très hautes (50 bars pour des diamètres < 600mm et 40 bars pour des diamètres > 600mm). Elles possèdent aussi une très grande sécurité mécanique et sont faciles à transporter et à mettre en œuvre; donc elles n'ont pas de spécifications particulières et ne nécessitent pas d'équipements spécialisés pour la pose [2].



*Figure N°4 : Conduites en fonte ductile*

## **IV.2. Revêtements**

Les tuyaux classiques revêtus extérieurement de zinc et d'une couche de peinture bitumineuse ont prouvé leur efficacité pendant de nombreuses années. Ils offrent la solution pour les grands diamètres. Ces tuyaux sont principalement utilisés pour des applications dans le domaine de l'eau potable.

En contact du terrain environnant, le revêtement en zinc se transforme lentement en une couche protectrice dense, adhérente, imperméable et continue de sels de zinc insolubles. Le bouche-pore favorise la formation d'une couche stable et insoluble.

Les revêtements extérieurs des conduites en fonte ductile varient en fonction de l'agressivité du sol, ou peut trouver des revêtements en polyéthylène, en mortier de ciment renforcé de fibres synthétique, et en polyuréthane.



*Figure N°5: Canalisation en fonte ductile revêtue extérieurement en mortier de ciment*



*Figure N° 6: Conduites en fonte ductile revêtue extérieurement en polyéthylène*



*Figure N°7: Conduite en fonte ductile revêtue extérieurement en polyuréthane*

La protection intérieure des tuyaux est constituée d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant:

- D'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- Le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- Une protection efficace de la paroi du tuyau.

Grâce à sa durabilité et à son coefficient de sécurité élevé, la fonte ductile a démontré depuis plusieurs dizaines d'années son adaptabilité à tous les types de terrain [3].

### **VI.3. Assemblages**

Les procédures d'assemblage varient en fonction du type de raccordement. Conditions de base à assurer pour tous les types de raccordement :

- La propreté de toutes les pièces,
- La bonne position de tous les éléments,
- L'alignement parfait des deux éléments à emboîter,
- La position centrale du bout uni dans l'emboîture,
- Respect strict des recommandations pour l'assemblage.

Pour les conduites en fonte ductile on distingue plusieurs types d'assemblages:

#### **IV.3.1.Emboitement à la barre à mine (pour DN 80 à DN 150):**

La barre à mine fait levier contre le sol. La face de l'emboîture du tuyau doit être protégée avec une pièce de bois dur. L'assemblage se fait par l'effet de levier de la barre à mine.

#### **IV.3.2. Godet d'excavation (pour tous les diamètres):**

La force hydraulique du bras d'un excavateur mécanique peut servir à assembler les tuyaux et raccords droits. Cependant, il convient de prendre les précautions suivantes:

- La face de l'emboîture du tuyau ou du raccord doit être protégée avec une pièce de bois dur.
- Appliquez une force lente et régulière en respectant les règles d'assemblage des tuyaux [4].

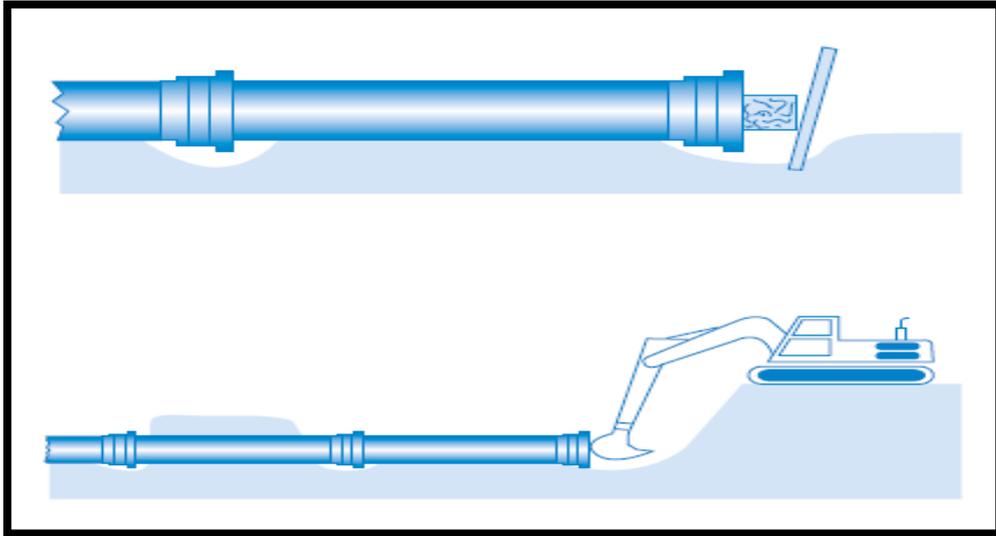


Figure N°8 : Assemblage par emboîtement par la barre à mine et godet d'excavation.

## V. LES CONDUITES EN POLYESTER DE FIBRE DE VERRE

Les principales matières premières utilisées pour la fabrication des canalisations en PRV sont la résine polyester et vinylester, la fibre de verre renforcée, et le sable de silice. La longueur standards des canalisations en PRV est de 12 mètres, cependant, il est possible de produire des longueurs allant de 3 mètre jusqu'à 15 mètres ou selon les exigences du projet. Les canalisations en PRV sont produites avec un diamètre nominal (DN) compris entre 300 et 3000mm, pour une pression nominale (PN) de 1 Bar à 32 Bars et pour une classe de rigidité de 2500 N/m<sup>2</sup>, 5000 N/m<sup>2</sup> et 10000 N/m<sup>2</sup>.



a)

b)

Figure N°9 : Conduites en PRV

a) Produit à l'usine.

*b) Pose en manchée.*

La supériorité des propriétés des canalisations en PRV comparativement à d'autres matériaux sont résumées ainsi:

- Longévité. Le PRV est conçu et fabriqué pour un service minimum de 50 ans,
- Le PRV n'est pas affecté par la corrosion. Ne nécessite donc pas d'enrobage, de protection cathodique et autre formes de protection anticorrosion,
- Résistance Mécanique élevée mais garde des propriétés élastiques,
- Le PRV est écologique et ne présente aucun danger pour les consommateurs,
- Caractéristique hydrauliques exceptionnels (Hazen – Williams coefficient  $C=150$ ),
- Coût d'exploitation et de maintenance moindre,
- Conception non-standards facile afin de répondre aux caractéristiques techniques requises pour différents projets,
- Le PRV est plus résistant au coup de bélier que ceux en fonte ductile ou en acier,
- Le PRV est connu pour sa légèreté (1/4 du poids de l'acier et 1/10 du poids du béton),
- Le PRV procure rapidité et économie durant la réalisation des projets [5].

## **VI. LES CONDUITES EN POLYETHYLENE HAUTE DENSITE (PEHD)**

Les canalisations sont majoritairement enterrées et sous pression (pression maximale du réseau : 20 bars à 20°C). Les tubes en PEHD sont disponibles jusqu'au diamètre extérieur de 630 mm. Aussi bien la matière première que les tubes doivent être attestés conformes sanitaire pour le transport de l'eau potable. Une attestation de conformité sanitaire (ACS), délivrée par un laboratoire habilité doit faire valoir cette aptitude [6].



Figure N°10: Conduite en PEHD .

### VI.1. assemblage des tubes

Les tubes PEHD doivent être assemblées, soit par :

- Électro-soudage,
- Bout à bout.

#### a). Électro-soudage

Cette technique consiste à réaliser des assemblages au moyen de raccords électro soudables.

Ces raccords peuvent se présenter sous forme de manchon, té, té-réduit, coude, etc....

#### b). Bout à bout

Cette technique consiste à assembler par élément chauffant des tubes et/ou des raccords en PEHD d'épaisseurs identiques. Cette technique ne peut être utilisée qu'à partir du diamètre 110 mm [6].

### VI.2. Caractéristiques des conduites en PEHD

#### VI.2.1 Résistance hydrostatique

La plus importante propriété des tubes thermoplastiques est leur résistance hydrostatique, qui définit la durée de vie attendue du tube sous pression interne. Celle-ci est liée au type de

résine considérée. La figure N°11 illustre la variation des résistances hydrostatiques des canalisations PEHD.

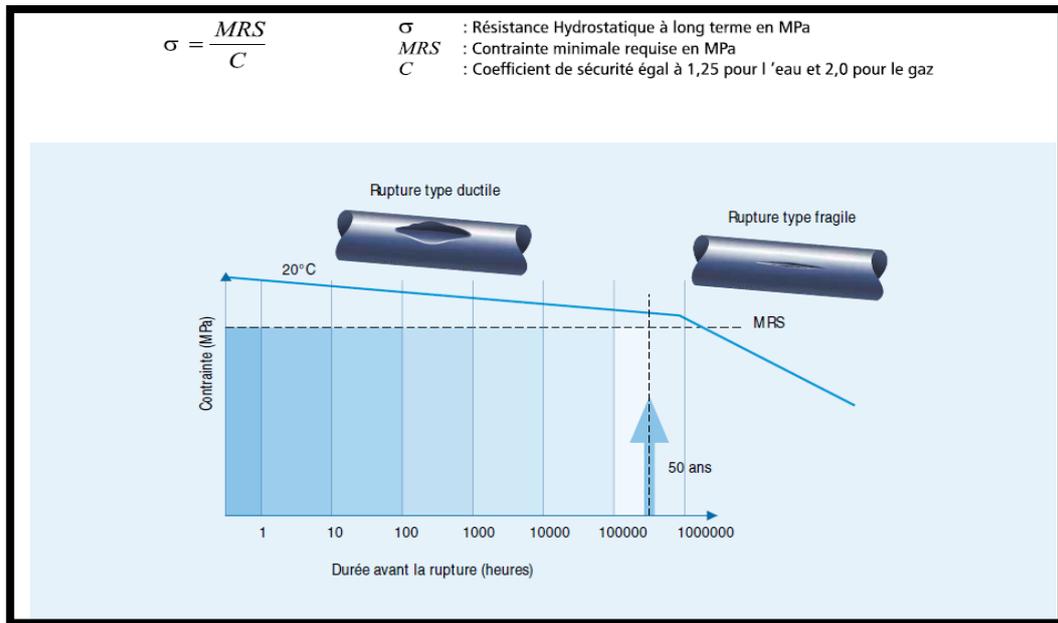


Figure N°11: Courbe de régression

Tableau N°4: Valeurs de MRS et pour les différents matières de PE.

Désignation de la résine	Classification suivant ISO	Contrainte minimale requise (MRS) MPa	Résistance hydrostatique à long terme à 20°C MPa
PEHD 3 <sup>ème</sup> génération	PE100	10.0	8.0
PEHD 2 <sup>ème</sup> génération	PE80	8.0	6.3
PEHD 1 <sup>ème</sup> génération	PE63	6.3	5.0
PEBD	PE40	4.0	3.2
PEBD	PE32	3.2	2.5

### VI.2.2. SDR (Standard Dimension Ratio)

Pour une matière et une pression donnée, le rapport des dimensions nominales des tubes (diamètre et épaisseur) est constant :

$$DSR = \frac{De}{e} \dots\dots (VI.1)$$

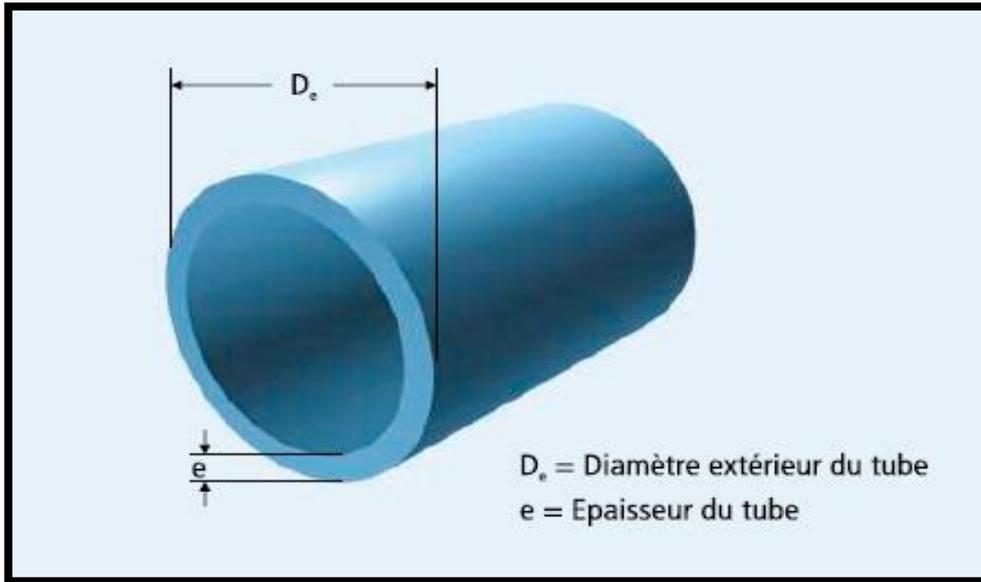


Figure N°12 : éléments de calcul du SDR

### VI.2.3 Caractéristiques du polyéthylène :

Le tableau N°5 résume les différentes caractéristiques de la matière polyéthylène:

Tableau N°5: Caractéristique des canalisations en polyéthylène.

Paramètre	PE80	PE100	unité
<b>Caractéristiques physiques</b>			
<b>Masse volumique</b>	949 à 956 0.7 à 1	956 à 961 0.2 à 0.5	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Caractéristiques mécaniques</b>			
<b>Mode d'élasticité</b>	≈ 900	≈ 1200	N/mm <sup>2</sup>
<b>Charge à la rupture</b>	≈ 24	≈ 24	N/mm <sup>2</sup>
<b>Allongement à la rupture</b>	>500	> 500	%
<b>Dureté Shore à 20°C</b>	57	59	-
<b>Résilience IZOD SI à 23°C</b>	>600	>600	J/m <sup>2</sup>
<b>Caractéristiques thermiques</b>			
<b>Conductibilité thermique à 23°C</b>	0.40 à 0.45	0.40 à 0.45	W/m.k
<b>Dilatation linéaire</b>	1.6 à 2×10 <sup>-4</sup>	1.6 à 2×10 <sup>-4</sup>	°K <sup>-1</sup>
<b>Autres propriétés</b>			
<b>% en poids de noir de carbone</b>			%
<b>Dispersion du noir de carbone</b>	2.0 à 2.5 ≤ 3	2.0 à 2.5 ≤ 3	-
<b>Stabilité à l'oxygène à 200°C</b>			Min
<b>Coefficient rugosité hydraulique</b>	0.01 jusqu'à DN 200 0.05 pour DN ≥ 200		
<b>Résistivité électrique</b>	>10 <sup>17</sup>	>10 <sup>17</sup>	Ω/cm

#### VI.2.4. Rugosité du polyéthylène

Les tubes en polyéthylène présentent un très bon comportement hydraulique. En effet, l'état de surface d'un tube a une très faible rugosité (environ 0,01). De plus, le polyéthylène a l'avantage de conserver une paroi très lisse même après une longue période de service. Ainsi

les pertes de charges à court et à long terme peuvent être définies avec précision dès la conception.

### **VI.2.5. Résistance chimique**

Les tubes PEHD ont une bonne tenue chimique pour les cas les plus courants. Ils résistent aux sels, aux acides et aux alcalis en solutions aqueuse diluées. De nombreux solvants peuvent être acceptés jusqu'à 50°C.

La résistance chimique des tubes en polyéthylène dépend des paramètres suivants :

- Le milieu,
- La concentration de l'effluent,
- La température,
- La charge.

La grande souplesse du tube en polyéthylène lui permet de bien résister au gel. Le polyéthylène se prête à la déformation due au gel puis reprend sa forme initiale au dégel. Le tube polyéthylène peut être posé à une température ambiante pouvant aller jusqu'à 50°C.

### **VI.2.6. Influence du climat**

#### **a). Dilatation**

Sous l'effet d'une variation de température, le tube en polyéthylène aura tendance à se dilater ou à se rétracter. La variation de température entraînera en plus ou en moins une variation de longueur de valeur :

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta t \dots\dots\dots (VI.2)$$

L=longueur considérée.

$\Delta L$  = variation de longueur.

$\Delta t$  = variation de température.

$\alpha$  =coefficient de dilatation.

Le coefficient de dilatation du PEHD est égal à 2.10 m/m/°C, c'est-à-dire 0.2 mm/m/°C.

Lorsque la conduite est installée en tranchée, le poids des terres et la résultante des forces de frottement contre la paroi du tube, contrarient l'allongement du tube, mais lorsque la conduite peut glisser par rapport à son support (pose en aérien par exemple), il est nécessaire de prendre en compte les effets dus à la dilatation (ou au retrait).

**b). Tenue à la pression à 20°C**

Le tableau N°6 résume, en fonction du SDR, les valeurs de la pression maximale admise par les tubes PEHD à 20°C.

*Tableau N°6: Valeurs de la pression maximale en fonction du SDR.*

Ø tube PE (mm)	SDR 11 (bar)		SDR 17 (bar)	
	PE80	PE100	PE100	PE100
Du 20 au 120	12.5	16.0	8.0	10.0

**VI.2.7. Influence de la température du fluide**

Le dimensionnement d'un tube PE est effectué pour une température du fluide de 20°C. Une température plus basse améliore la tenue du tube, une température d'utilisation plus haute implique d'utiliser un coefficient de détimbrage pour le dimensionnement de la canalisation.

La pression PMA est alors calculée de la manière suivante :

PMA : Pression maximale admissible

$$PMA = f(t) \cdot f(a) \cdot PN \dots\dots\dots (VI.3)$$

F(t) : facteur de détimbrage dû à la température

F(a) : facteur de détimbrage dû aux conditions internes et environnementales de fonctionnement.

Dans la pratique, les deux facteurs seront toujours inférieurs ou égaux à 1. Généralement, seul le détimbrage dû à la température est pris en compte.

Tableau N°7: Facteur de détimbrage selon la température.

Température (°C)	F(t)
20	1.00
30	0.87
40	0.74

### VI.3. Résistance et contraintes admissibles

Les résistances minimales et les contraintes admissibles des tubes en polyéthylène sont fixées selon le tableau N°8 en fonction du type de résine utilisée pour leur fabrication.

Tableau N°8: Résistance et contrainte admissible fixe de polyéthylène.

Types de résine	Résistance minimale requise (MPa)	Contrainte admissible (MPa)
<b>PE 100</b>	10.0	8.0
<b>PE 80</b>	8.0	6.3
<b>PE 63</b>	6.3	5.0
<b>PE 40</b>	4.0	3.2

### VI.4. Avantages des tubes PE

#### II.4.1. Corrosion

Le PE est inerte chimiquement, pour pratiquement tous les usages, à l'intérieur de sa plage de température d'utilisation. Il est imputrescible, il ne rouille pas, ne se pique pas, ne se corrode pas. De ce fait, son épaisseur n'est modifiée par aucune corrosion chimique ou électrique provenant du milieu environnant.

La résistivité des terrains, quel que soit son niveau, n'a pas d'effet sur les tubes et les raccords constituant le réseau en polyéthylène.

De même, il est totalement inerte vis-à-vis des courants électriques vagabonds générés par l'activité des transports en commun ou par les industries.

#### **VI.4.2. Abrasion**

Les tubes polyéthylène résistent très bien à l'abrasion. Lorsqu'on compare les tubes PE aux tuyaux conventionnels utilisés pour des applications identiques, on constate une augmentation considérable de la durée de vie des canalisations PE vis-à-vis de ce phénomène physique.

#### **VI.4.3. Autobutage**

Les canalisations PE permettent de limiter au minimum les points d'ancrage du réseau. Cette caractéristique, assurée par l'aptitude du matériau PE à être conditionné en grandes longueurs (DN 160) et par les techniques de raccordement par soudage, simplifie la conception du réseau. L'autobutage a des répercussions non négligeables dans la rapidité d'exécution du projet.

#### **VI.4.4. Ductilité et flexibilité**

La ductilité inhérente au PE permet aux conduites d'absorber les impacts, les vibrations et les contraintes causées par les mouvements de sol. La propriété de flexibilité et l'aptitude à se déformer sans dommage permanent permettent en outre aux conduites d'être cintrées dans le cas de tracés difficiles ou de changement de direction. Leur aptitude à s'adapter aux mouvements du sol est particulièrement intéressante dans les terrains potentiellement instables, telles que des zones comblées récemment, au-dessus de carrières ou encore des zones sismiques.

#### **VI.4.5. Résistance aux coups de bélier**

La nature de la matière utilisée limite les efforts du coup de bélier par un effet d'amortissement rapide selon la formule d'Allievi. La longévité des différents composants du réseau s'en trouve améliorée.

#### **VI.4.6. Étanchéité**

Le mode d'assemblage du PE (soudage par électrofusion et soudage bout à bout) confère au réseau une étanchéité quasiment parfaite. Des essais de résistance à la pression hydraulique effectués au laboratoire ont montré que les joints de soudures sont plus fiables que le tube. Lorsque l'essai est poussé jusqu'à la rupture, celle-ci se produit toujours en dehors de la zone de soudure. Le soudage confère à l'assemblage un verrouillage durable, plus de déboîtement

possible quelles que soient les contraintes subies par la conduite comme les surpressions ou les mouvements du terrain [7].



Figure N°13: Tube en PE arien.

## VII. CANALISATION EN PVC OU POLYCHLORURE DE VINYLE

Le développement des canalisations en PVC sur le marché de l'adduction d'eau potable est dû :

- Aux qualités du produit,
- À l'absence de corrosion,
- Aux faibles pertes de charge,
- À la bonne résistance mécanique,
- À l'assemblage aisé,
- À une manutention facilitée,
- À une durabilité et une recyclabilité prouvées.

Les tubes PVC, destinés à l'adduction d'eau, sont équipés à une extrémité d'une emboîture à joint ou à coller et à l'autre extrémité, d'un chanfrein, ce qui permet d'assurer l'assemblage des tubes entre eux. Ils sont livrés habituellement en longueur de 6 mètres. D'autres longueurs peuvent être fabriquées sur demande [8].



*Figure N°14: Conduites en PVC*

### **VII.1. Raccords PVC**

Les raccords PVC sont généralement fabriqués par injection. Certaines réductions et courbes à grand rayon sont, dans les moyens et gros diamètres, réalisées à partir de tubes en PVC.

Les raccords équipent tous les points singuliers de la canalisation :

- déviations,
- réductions,
- dérivations et piquages,
- sectionnement,
- liaison aux appareils de sectionnement et de protection des conduites.

Ils s'assemblent avec les tubes par collage, bague de joint, bride, ou autres systèmes mécaniques.

### **VII.2. Raccords métalliques**

D'autres raccords en matériaux métalliques existent et peuvent être utilisés, à condition qu'ils soient spécialement conçus pour l'assemblage avec des tubes en PVC.

Pour les tubes en PVC bi-orienté chaque fabricant met à disposition un tableau de compatibilité des pièces de raccordement, établi selon le protocole d'assemblage [9].

### VII.3. Caractéristiques

#### VII.3.1. Tenue à la corrosion

La tenue à la corrosion des tuyaux en matières plastiques est excellente. C'est le point fort de ces canalisations auquel ces détracteurs opposent des caractéristiques mécaniques faibles mais surtout variables. En effet, ces tuyaux deviennent fragiles à basse température, ont un coefficient de dilatation thermique très important. Enfin, les thermoplastiques sont sensibles aux U.V. qui provoquent des décolorations accompagnées d'une fragilisation mécanique.

Ils sont à proscrire en pose aérienne même en cas de traitement anti-UV et en cas de lit de pose insuffisant, par exemple si un matériau spécifique pour le remblai n'est pas disponible sur le site.

#### VII.3.2. Le détimbrage des pressions

Détimbrer, c'est décider que la Pression de Fonctionnement Admissible 1 ou la Pression Maximale de Service (PMS) 2 des tubes sera inférieure à la Pression Nominale (PN) d'une ou plusieurs séries. Les critères de détimbrage sont les suivants :

- Les pulsations de la conduite soumise à des coups de bélier,
- La température du fluide transportée.

La température à retenir pour le coefficient de détimbrage ( $f_T$ ) est la température du fluide ou la température de l'air ambiant, mais dans tous les cas la plus faible. On a la relation suivante qui définit le détimbrage d'une pression nominale

$$PMS = f_T \cdot PN \dots\dots\dots (VII.4)$$

Lorsque des paramètres connus ou mal connus (température, fluctuation de pression) augmentent les contraintes et s'ajoutent à celles de la pression statique, la longévité de la canalisation en PVC risque d'être amoindrie. Si l'on veut pérenniser le réseau en PVC, il y a lieu d'effectuer un détimbrage. Le moyen le plus simple pour détimbrer est de décider que la pression maximale de service (PMS) des tubes sera d'une ou de plusieurs séries inférieures à la PN.

Tableau N°9: Variation de coefficient de détimbrage en fonction de la température.

Plage de température de service °C	$f_T$	
	PVC-U	PVC-BO
$\geq 5 \leq 25$	1	1
$> 25 \leq 45$	0.63	0.63
$< 45 \leq 60$	Etude réalisé avec le fabriquant	-

#### VII.4. Caractéristique hydraulique :

L'état de surface intérieure très lisse assure un bon écoulement. On considère souvent un coefficient  $K = 0,01$  mm.

Diamètre nominaux : 12 à 500 mm (diamètre extérieur)

Longueur utile : 6m

Pression nominale : 6 ; 10 ; 12,5 ; 16 ; 25 bars

##### VII.4.1 Pertes de charge

Les surfaces internes des tubes pression en PVC sont proches de l'état "idéalement lisse". De ce fait les pertes de charge restent considérablement réduites par rapport aux tubes en matériaux traditionnels.

##### VII.4.2. Coups de bélier

Dans certains cas, ce phénomène est assez important pour provoquer la rupture de la canalisation. L'effet du coup de bélier (qui dépend de la célérité de l'onde de choc) croît avec le module d'élasticité du tube. Les canalisations pression en PVC, qui ont un module d'élasticité très inférieur à celui des canalisations métalliques, sont moins sensibles à l'effet du coup de bélier. Du fait de leur structure, les tubes bi-orientés absorbent d'avantage l'onde de choc du coup de bélier que les tubes en PVC-compact. Pour un diamètre donné, l'intensité du coup de bélier est environ 1,5 fois inférieure à celle du PVC compact en PN16.

## VII.5. Technique d'assemblage

Il existe deux (02) grands types d'assemblage :

- les assemblages par soudure qui se subdivisent en assemblage par électro soudage et assemblage par soudage bout a bout,
- les assemblages mécaniques.

### VII.5.1 Electro soudage

Cette technique consiste à raccorder les tubes au moyen de raccords électro soudables.

Ces raccords sont munis de résistances électriques permettant la fusion des surfaces des pièces à assembler.

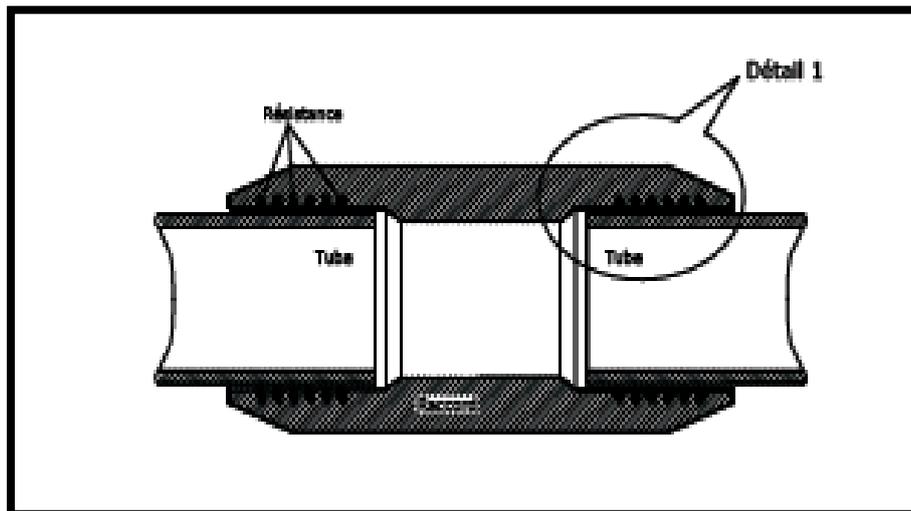


Figure N°15: Raccords électro soudables d'une canalisation en PVC

### VII.5.2. Soudage bout à bout

Le soudage bout a bout par élément chauffant est utilisé pour assembler des tubes et raccords en polyéthylène d'épaisseur identique. Il est applicable aux canalisations de diamètre supérieur ou égal à 90 mm.

Ce procédé consiste à chauffer les extrémités des tubes et/ou raccords à l'aide d'un outil chauffant (miroir) pour les porter à la température requise pour le soudage. Dès que cette température est atteinte, l'outil se retire et les extrémités plastiques sont mises en contact avec pression pendant tout le cycle de refroidissement. La soudure ainsi réalisée doit reconstituer

parfaitement la continuité de la canalisation et garantir une résistance mécanique au moins égale à celle du tube utilisé. La machine et l'outillage nécessaires au soudage bout à bout doivent être homologues.

### **VII.5.3. Assemblages mécaniques**

Ces assemblages sont réalisés avec des raccords mécaniques à base de résine plastique (polypropylène, PVC, polyamide, ABS). Ces raccords peuvent servir à raccorder des tubes en polyéthylène entre eux ou avec d'autres tubes et accessoires métalliques ou plastiques.

Ce type d'assemblage est préconisé pour des tubes dont le diamètre est inférieur ou égal à 63 mm. Les raccords mécaniques pour la réalisation des assemblages dans les réseaux d'eau potable doivent être homologues.

## **VIII. TUYAUX EN BETON ARME**

D'une façon générale, les tuyaux béton utilisés sur les réseaux d'eau potable, comportent une épaisseur importante de béton renforcée en son milieu par des armatures d'acier. Cette armature peut être constituée :

- d'un tube médian complet en acier qui assure l'étanchéité du tuyau (tuyau âme-tôle), dans ce cas on a, en fait, un tuyau d'acier avec revêtement intérieur et extérieur béton,
- de fils disposés longitudinalement et circonférenciellement tendus ou non ; dans ce cas, l'étanchéité n'est réellement assurée que par le béton [8].

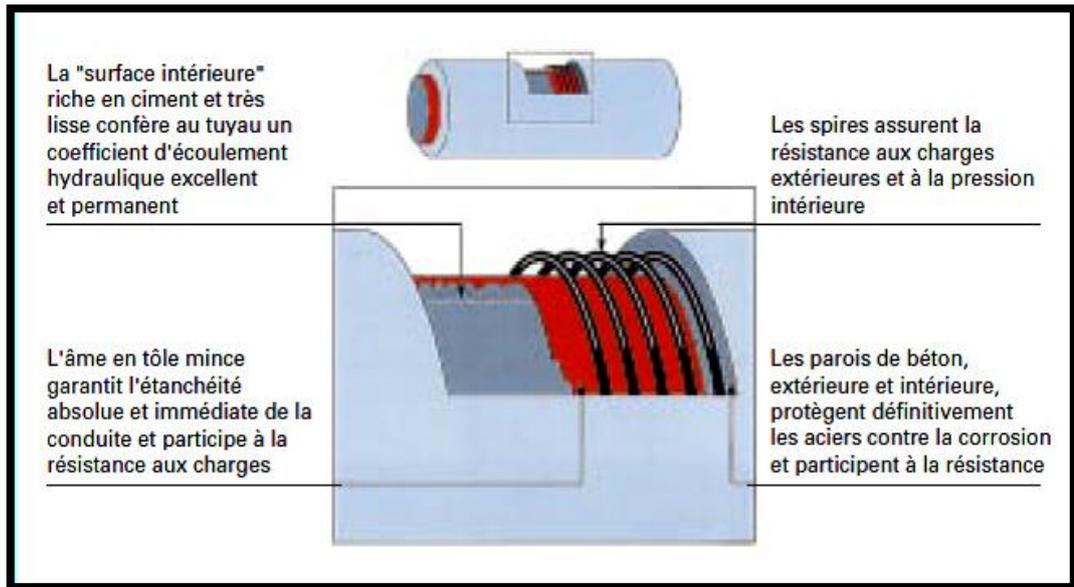


Figure N°16: Constitution du tuyau en béton armé.

## VIII.1. Caractéristiques

### VIII.1.1. Tenue à la corrosion

C'est la qualité du béton qui conditionne à la fois sa résistance propre à la corrosion et celle des armatures qui est déterminante dans la résistance de l'ensemble du tuyau. On vérifiera les caractéristiques de résistance à la corrosion indiquées par les fournisseurs en fonction des dosages utilisés et des gammes proposées.

### VIII.1.2. Caractéristiques hydrauliques :

Les qualités d'écoulement des tuyaux béton sont bonnes et analogues à celles du revêtement ciment des tuyaux fonte et acier, on adopte généralement un coefficient K de 0,1 mm.

### VIII.1.3. Gamme de tuyau

- **Diamètre nominal** : 250 à 4 000 mm
- **Longueur utile** : 2,00 m à 6,15 m

### VIII.1.4. Avantage

- Pose continue sans joint,
- Bonne résistance contre les corrosions intérieure et extérieure,
- Grande résistance mécanique.

### VIII.1.5. Inconvénients

- Peut affecter les caractéristiques organoleptiques de l'eau [8].



*Figure N°17: Conduites en béton armé*

### VIII.2. Tuyaux en amiante-ciment

Ces tuyaux ne sont plus fabriqués, comme tous les anciens produits en amiante-ciment, pour des raisons réglementaires. Rappelons que l'amiante dans l'air peut provoquer des maladies graves au niveau pulmonaire. Toutefois, aucune étude sérieuse n'a, à ce jour, mis en évidence une quelconque toxicité pour l'homme dans le cas d'ingestion de fibres d'amiante ; l'OMS précise que les fibres d'amiante dans l'eau « ne présentent pas de risque pour la santé humaine ». Pour ces raisons, les réseaux en place contenant des tuyaux d'amiante-ciment n'ont pas à être remplacés autrement que lors des opérations normales concernant des tuyaux vieux et en mauvais état. On trouve des diamètres de 80 à 800 mm, à bout lisse, assemblés par des joints de type à manchon ; les pièces spéciales sont celles des tuyaux en fonte. Avec des eaux peu minéralisées, les conduites recevaient un enduit interne au brai de houille [10].

### VIII.3. Conduites en béton précontraint à âme tôle (PBAT)

Le tuyau à âme en tôle d'acier et double revêtement intérieur et extérieur en béton armé est de plus en plus utilisé notamment dans les gros diamètres en raison de son prix relatif, de sa passivité, de sa faible corrosivité, de son autoportance, de son aptitude aux techniques de pose

sans tranchée, par fonçage ou microtunnelage, et de sa longévité. Dans les conditions extrêmes d'agressivité et/ou de corrosivité de l'eau ou du terrain, des ciments spéciaux peuvent être utilisés et on peut avoir recours à des revêtements internes et/ou externes spéciaux comme pour les autres matériaux de canalisations. On peut même envisager une protection cathodique sur l'âme en tôle.



Figure N°18: Conduites en BPAT- fabrication à l'usine

### VIII.3.1. Fabrication de l'âme en tôle et de l'armature

L'âme en tôle est fabriquée à partir de tôles d'acier cintrées et soudées longitudinalement ou hélicoïdalement. Elle se termine par des plats d'abouts permettant l'assemblage des tuyaux entre eux par joints soudés ou joints à garniture en élastomère. L'armature est fabriquée par enroulement hélicoïdal d'un fil d'acier à un pas constant.

### VIII.3.2. Mise en œuvre du béton

Elle se fait suivant deux procédés :

- par centrifugation pour le revêtement intérieur et par projection du revêtement extérieur, procédé donnant des qualités exceptionnelles de finition,
- par moulage et vibration des bétons intérieurs et extérieurs en une seule opération, technique plus rapide et donc moins coûteuse.



Figure N°19: Ames en tôle déjà testées contre les fuites et prêtes à l'emploi.

Les diamètres varient de 250 à 4 000 mm. Jusqu'au diamètre 1 250 mm, la longueur des tuyaux est le plus souvent de 6 m. Elle est de 5 m jusqu'au diamètre 1 800 mm et diminue en fonction du diamètre jusqu'à 2 m pour le 4 000 mm [10].

Le tuyau comprend :

- Une âme en tôle munie de bagues d'about soudées à ses extrémités,
- Un revêtement intérieur (centrifugé ou moulé) et un revêtement extérieur (moulé) protégeant l'âme en tôle et formant le primaire,
- Une armature à haute résistance à la traction obtenue par enroulement hélicoïdal d'un fil d'acier, sous tension contrôlée, autour du primaire, assurant une précontrainte circonférentielle. Le pas et le diamètre du fil sont adaptés aux conditions d'utilisation,
- Un revêtement en béton vibré de forte compacité.

**IX. TABLEAU DE SYNTHÈSE**

Le tableau N°10 résume les paramètres préliminaires pour le choix du type de canalisation.

*Tableau N°10: Tableau de synthèse*

<b>Matériau</b>	<b>Agressivité du sol</b>	<b>Agressivité de l'eau</b>	<b>Le relief</b>	<b>La nature géologique</b>	<b>Séisme et déformation du sol</b>	<b>La pression</b>
<b>Fonte ductile</b>	×	×	×	×	×	×
<b>Acier</b>	×	×	×	×		×
<b>PRV</b>	×	×				×
<b>PVC</b>	×	×			×	
<b>PEHD</b>	×	×	×	×	×	
<b>BPAT</b>	×	×	×		×	

**CONCLUSION**

Ce chapitre a englobé un volet important pour les transferts d'eau. Il s'agit des critères de choix liés aux types de canalisations à projeter. L'analyse doit être multicritères et plusieurs paramètres interviennent pour le choix définitif à savoir: agressivité des sols, agressivités des eaux véhiculées, relief, pressions de services et critères économiques relatifs à l'investissement initial et aux frais de maintenance. Une revue bibliographique de l'ensemble des types de canalisations destinées aux transferts d'eau a été largement détaillée avec des orientations en termes de paramètres décisionnels pour le choix du type de canalisations à adopter pour la conception des transferts d'eau. La pondération entre les paramètres de choix dépend étroitement de l'ampleur des transferts et de leur caractère stratégique et un ou plusieurs critères peuvent dominer en fonction des spécificités de chaque conception.

## I. INTRODUCTION

Le transport est nécessaire entre le point de captage et le point d'utilisation, dans la pratique ces points sont relativement éloignés l'un de l'autre, quelquefois ils peuvent se trouver à des distances considérables. Du point de vue technique, on est conduit à séparer les ouvrages d'adduction et ceux de distribution. Les premiers sont généralement de grandes dimensions (relativement aux seconds), les écoulements y sont le plus souvent unidirectionnels. Par contre, la distribution, sauf dans des installations anciennes, se fait par des ouvrages maillés où le sens des écoulements est variable et où les débits sont très fluctuants en fonction des besoins des usagers qui diffèrent beaucoup au cours d'une même journée et suivant l'époque de l'année. Cependant les relations liant débit, pression, dimensions de l'ouvrage de transport et nature de ses parois restent les mêmes pour l'adduction et la distribution. Il faut distinguer encore les écoulements à surface libre et les écoulements dans les ouvrages en charge. La distribution ne fait appel qu'aux seconds (sauf des cas très particuliers de distributions anciennes dans des régions en voie de développement). Tous les écoulements dans les ouvrages d'adduction et de distribution s'opèrent en régime turbulent.

Cette partie du travail concerne une contribution bibliographique relative aux transferts d'eau. Elle englobe l'ensemble des notions théoriques en relation avec les calculs hydrauliques, les composants des adductions d'eau ainsi que les différentes protections nécessaires en particulier les protections contre le coup de bélier.

## II. TYPES DES TRANSFERTS

D'après leur fonctionnement, les adductions peuvent être classées en trois groupes:

- Adductions gravitaires,
- Adductions par refoulement,
- Adductions mixtes.

### II.1. Adduction gravitaire

Où l'écoulement de l'eau à des pressions importantes est causé par la différence des niveaux hydrauliques : l'altitude de la source est supérieure à l'altitude du point de consommation, et se déplace donc grâce à la force de gravitation d'où son nom [11].

Un écoulement gravitaire est un écoulement qui se fait sous l'action d'une force extérieure qui lui sera appliqué (conditionné par la pente, pesanteur). L'adduction gravitaire s'effectue, soit par aqueduc, soit par conduite forcée ou en charge.

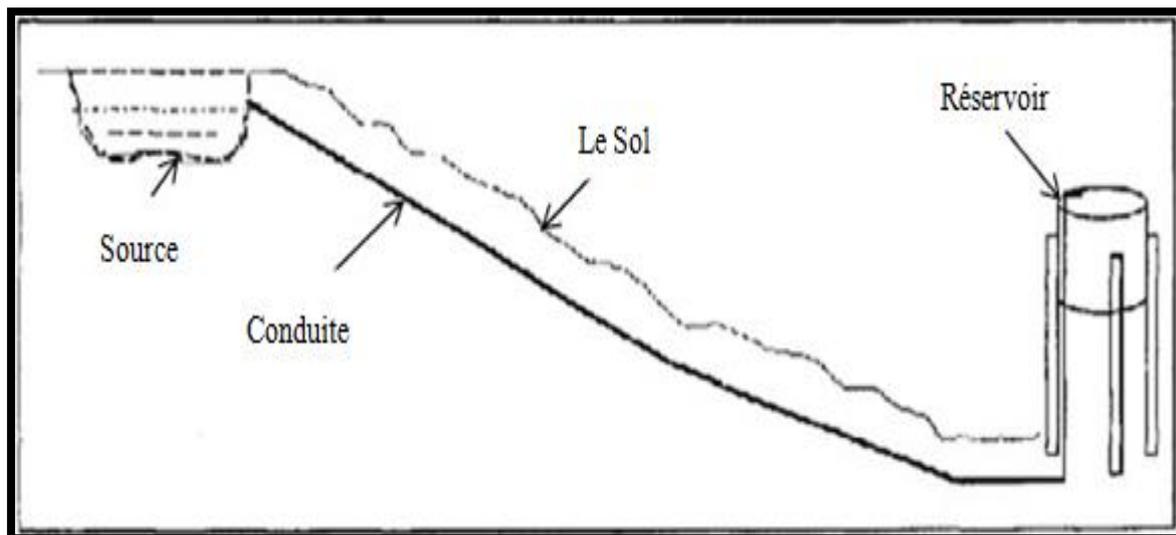


Figure N° 20: Schéma d'une adduction gravitaire

Les adductions gravitaires et dans le cas des pressions relativement élevées nécessitent des dispositifs de réduction de pression.

### II.1.1. Réducteur de pression

#### a. Présentation de la régulation de pression

Une pression élevée dans le réseau fragilise les conduites et augmente le débit des fuites existantes. La pression de service d'un réseau doit être supérieure à la pression minimale souhaitée (pression de confort de l'utilisateur usuellement fixée à 2 bars). Dans bien des configurations, la pression de service est supérieure à cette valeur et peut atteindre plus de 10 bars. La réduction de pression consiste donc à réduire la pression du réseau tout en assurant une valeur minimale de service en tout point, y compris lorsque la demande est maximale. Cette réduction de pression peut se faire sur la totalité du réseau, sur un secteur ou une antenne, voire uniquement chez les abonnés. Pour ce faire, on utilise un réducteur de pression qui permet, à partir d'une pression variable à l'amont, de maintenir une pression inférieure et constante à l'aval [12].

#### b. Définition

Cet appareil réduit la pression de l'eau qui le traverse, et permet d'obtenir à sa sortie une valeur réglée et constante. Installé à l'entrée, il protège toute l'installation des problèmes dus à un excès de pression : bruits dans les canalisations, coups de bélier, éclaboussures, usures prématurées des appareils et des robinetteries. Le réducteur de pression est un appareil totalement autonome.

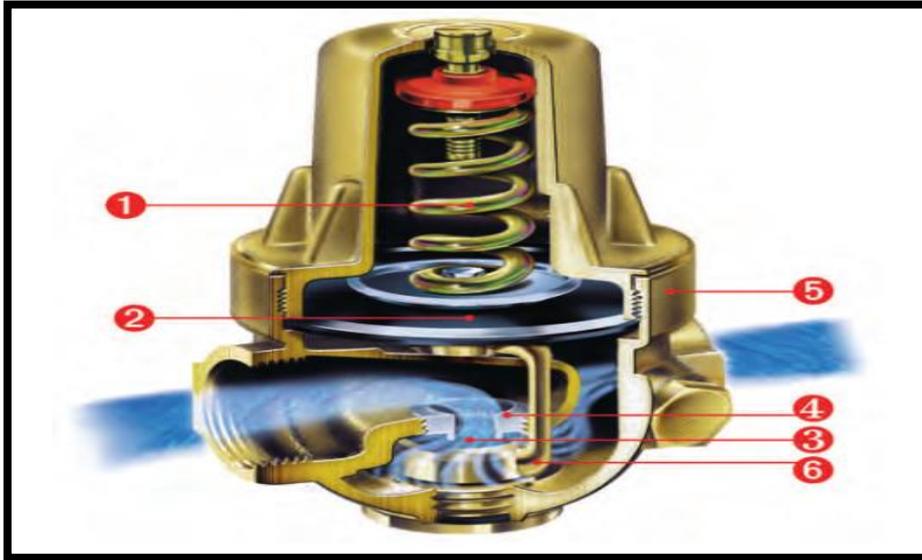


Figure N° 21 : Composants d'un réducteur de pression.

Le réducteur de pression se compose généralement des éléments ci-dessous:

- Un ressort inoxydable (1) à grandes spires et haute sensibilité : il garantit un réglage précis. Le contrôle de la pression s'effectue dans une plage de 1,5 à 5,5 bars,
- Une membrane (2) et un clapet (3) haute température : résistant à des températures élevées (jusqu'à 80°C),
- Un siège en acier inox (4) : une exclusivité qui protège de l'usure et de l'agressivité de l'eau. Une garantie de longévité,
- Un corps monobloc en laiton non-dé zincifiable (5) (DZR) : d'une grande robustesse, ce métal est insensible à la corrosion et répond aux nouvelles normes sanitaires sur la compatibilité des matériaux en contact avec l'eau potable,
- Un ensemble étrier/clapet (6) : pièce mobile monobloc en laiton non-dé zincifiable (DZR), l'étrier comporte un clapet (3) largement dimensionné autorisant des performances supérieures aux exigences de la norme.

### c. Choix de diamètre des réducteurs de pression

En général le réducteur est choisi en fonction du diamètre de la canalisation installée, à condition bien entendu que celle-ci soit correctement dimensionnée. Le choix des diamètres de canalisation doit être effectué selon les règles de l'art [13].

### d. Installation

Les réducteurs de pression peuvent être installés dans toutes les positions. Généralement ils

s'installent directement après le compteur de débit et protègent ainsi toute l'installation.

### e. Champs d'utilisation

Deux technologies de régulateurs de pression existent :

- les régulateurs à ressort (vanne à régulation mécanique),
- les vannes de régulation à commande hydraulique [12].

Tableau N°11 : Choix de la technologie de régulateur selon les conditions d'utilisation.

Conditions d'utilisation	Vanne à régulation mécanique (réducteur de pression)	Vanne à régulation hydraulique (hydro stabilisateurs)
Connaissance du réseau	Connaissance détaillée du réseau, du/des point(s) critique(s), connaissance des débits et des pressions.	
Pression	Pression dépassant la pression minimale requise au point critique et en période de pointe.	
Diamètre des appareils	Inférieur à 300 mm	Tout diamètre
Caractéristiques des solutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnement simple.</li> <li>• Robuste.</li> <li>• Gamme de débits plus réduite.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilité d'adjoindre des fonctionnalités complémentaires ou de les modifier (changement du ou des pilotes).</li> <li>• Peu de pertes de charge à pleine ouverture.</li> <li>• Régulation plus précise et hystérésis à débit nul plus faible.</li> </ul>
Installation	Regard adapté, filtre, vanne de garde amont et aval, ventouse éventuelle.	

## II.2. Adduction par refoulement

Dans une adduction par refoulement, le captage se situe à un niveau inférieur à celui de l'utilisation où la pression sur le réseau et l'acheminement de l'eau se fait à l'aide de pompes à l'intérieur de stations de pompage [11].

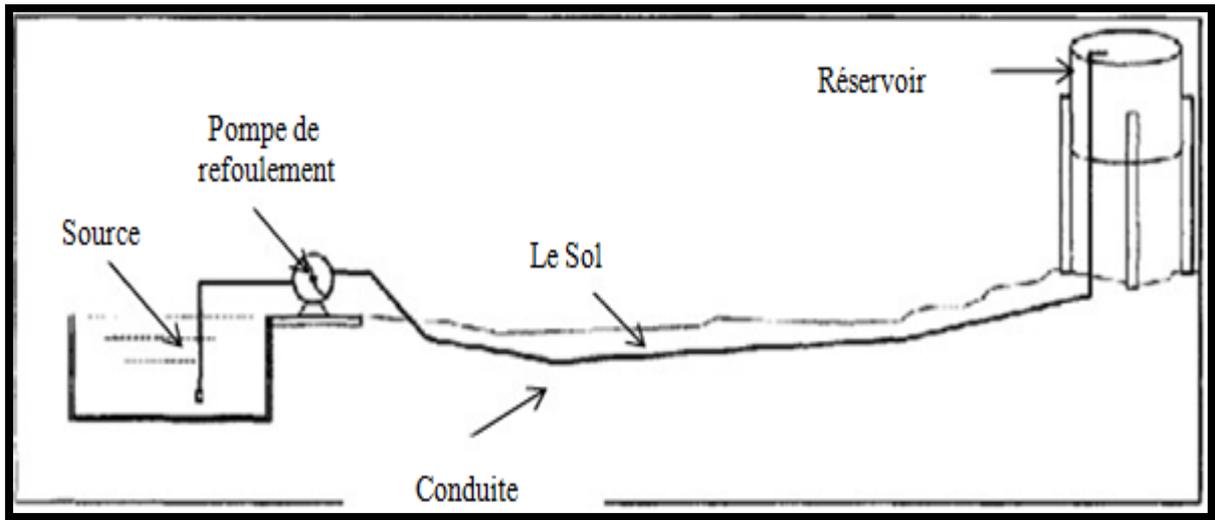


Figure N° 22 : Schéma d'une adduction par refoulement

## II.2.1.Pompes

### a. Définition

Dans plusieurs cas, on aura besoin d'ajouter de l'énergie à un circuit hydraulique pour surmonter des différences d'altitude, des pertes d'énergie par frottement, et des pertes singulières. Une pompe est un dispositif auquel l'énergie mécanique est appliquée et transférée à l'eau en tant que charge hydraulique. La charge supplémentaire s'appelle la charge de pompe et est une fonction du débit de la pompe. Les pompes centrifuges sont plus souvent les pompes utilisées dans des systèmes d'alimentation en eau.

### b. Pompes centrifuges

Une pompe centrifuge est construite pour répondre à des conditions précises de fonctionnement : débit  $Q$  à élever à une hauteur  $H$ .

D'une façon générale, Une pompe de ce type comporte essentiellement :

- *Un organe mobile* : une roue ou turbine ou encore impulseur (rotor, mobile...) qui met en vitesse l'eau parvenant par son ouïe centrale situé dans le prolongement de l'axe de rotation,
- *Des organes fixes* : un diffuseur ou une volute ou le corps de la pompe qui transforme l'énergie de vitesse acquise en hauteur manométrique. Il est muni à sa base d'un orifice de vidange et à sa partie supérieure d'un orifice de remplissage qui sert lors de

- l'amorçage de la pompe. Le vide partiel ainsi créé à l'aspiration garantit l'approvisionnement continu de l'eau.

Une pompe peut être monocellulaire si elle a une seule roue valable dans des domaines de basses et moyennes pressions, ou multicellulaire si elle a plusieurs roues fonctionnant dans des domaines de moyennes et autres pressions [14].

### **c. Caractéristiques des pompes**

#### **i. Débit**

Le débit  $Q$  fourni par une pompe centrifuge est le volume refoulé pendant l'unité de temps. Il s'exprime en mètres cubes par seconde ( $m^3/s$ ) ou plus pratiquement en mètres cubes par heure ( $m^3/h$ ).

#### **ii. Hauteur manométrique**

On appelle hauteur manométrique  $H$  d'une pompe, l'énergie fournie par la pompe par unité de poids du liquide qui la traverse. Elle s'exprime en mètre (m).

La Hauteur manométrique varie avec le débit et est représentée par la courbe caractéristique  $H=f(Q)$  de la pompe considérée.

#### **ii. Puissance hydraulique**

La puissance hydraulique communiquée au liquide pompé est liée aux 2 grandeurs précédentes. Si  $Q$  est le débit volume du fluide,  $\rho$  sa masse volumique et  $H$  la hauteur manométrique de la pompe, la puissance hydraulique  $P$  (W) est donnée par :

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \dots\dots\dots (II.5)$$

### **d. Différents types de pompage**

Il existe deux types de pompage : en aspiration ou en charge.

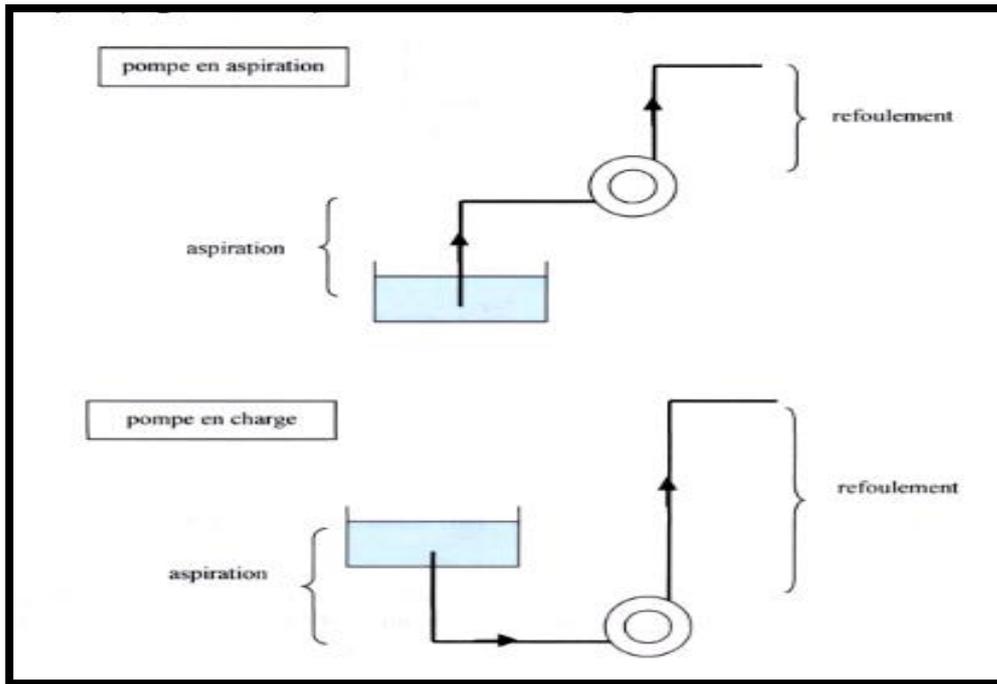


Figure N° 23 : Types de pompe.

#### e. Critères de choix d'une pompe

La pompe est choisie en fonction des caractéristiques du circuit de circulation et du débit de liquide dans ce circuit. Pour traduire numériquement les caractéristiques d'un circuit, on calcule sa hauteur manométrique totale (HMT) [15].

On cite aussi parmi les critères de choix les éléments suivants:

- Niveau de pression nominal,
  - Plage de vitesse de rotation,
  - Durée de vie minimum,
  - Niveau sonore admissible,
  - Encombrement disponible,
  - Sensibilité à la pollution du circuit (impureté),
  - Rendements,
  - Sensibilité à la dépression (condition d'aspiration),
  - Compatibilité avec le fluide hydraulique utilisé,
  - Prix,
- Temps de réponse des régulateurs montés sur les pompes à débit variable [16].

**f. Hauteur manométrique totale (HMT) d'un circuit**

La charge d'un liquide en un point représente la quantité d'énergie « contenue » par le liquide en ce point. Lorsqu'elle est exprimée en mètre de liquide, on l'appelle « hauteur manométrique ». La hauteur manométrique totale d'un circuit est donc la différence de charge entre l'entrée et la sortie du circuit. La HMT est liée à la puissance hydraulique que la pompe doit fournir :

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot \text{HMT} \dots\dots\dots (\text{II.6})$$

Ce qui donne :

$$\text{HMT} = \frac{P}{Q \cdot \rho \cdot g} \dots\dots\dots (\text{II.7})$$

Donc :

$$\text{HMT} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + \Delta H \dots\dots\dots (\text{II.8})$$

$\Delta H$  : Perte de charge exprimée en mètre,

$P_1$  : Pression au point 1,

$P_2$  : Pression au point 2 [15].

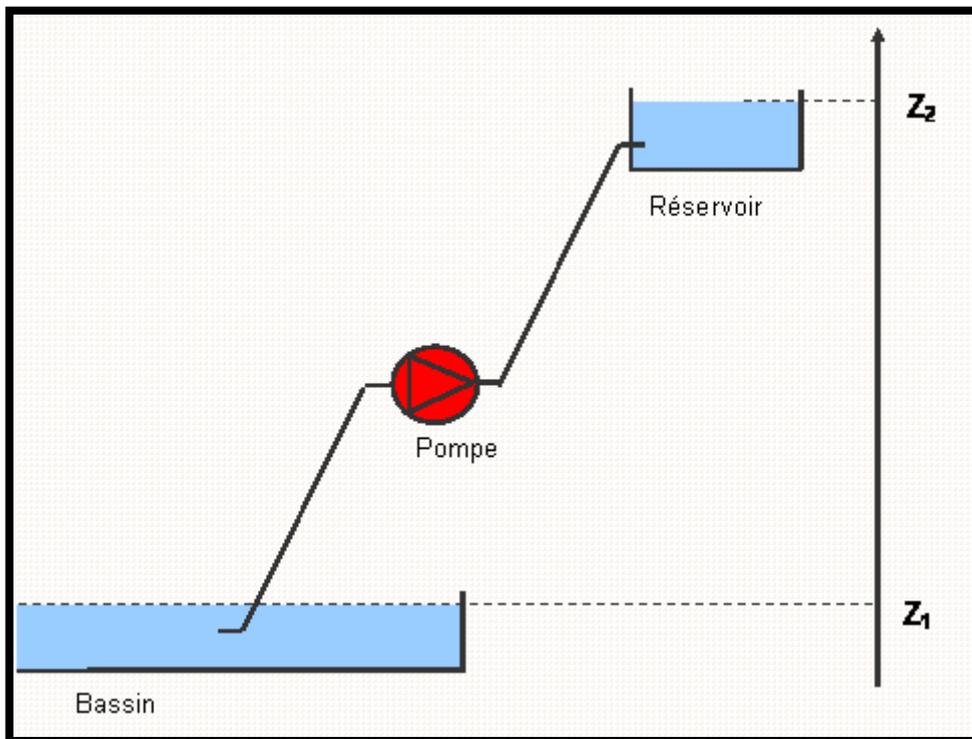


Figure N° 24 : schéma d'un pompage d'eau

**g. Courbes caractéristiques d'une pompe**

Les courbes principales qui caractérisent une pompe centrifuge et qui expriment ses qualités, sont, pour une vitesse de rotation donnée :

**i. Courbe de pompe**

L'augmentation de pression dans la pompe est appelée la hauteur de refoulement.

**• Définition de la hauteur de refoulement**

La hauteur de refoulement  $H$  d'une pompe est le travail mécanique utilisable transféré par la pompe au fluide véhiculé, exprimé en terme de force gravitationnelle du fluide pompé sous l'accélération locale de la gravité.

$$H = \frac{E}{G} \quad \text{en [m]} \dots\dots\dots (II.9)$$

$E$  = Énergie mécanique utilisable [N • m]

$G$  = Force gravitationnelle [N]

Ici, l'augmentation de pression générée dans la pompe et le débit au travers de la pompe dépendent l'un de l'autre. Cette relation est représentée dans un diagramme et représente la courbe de la pompe.

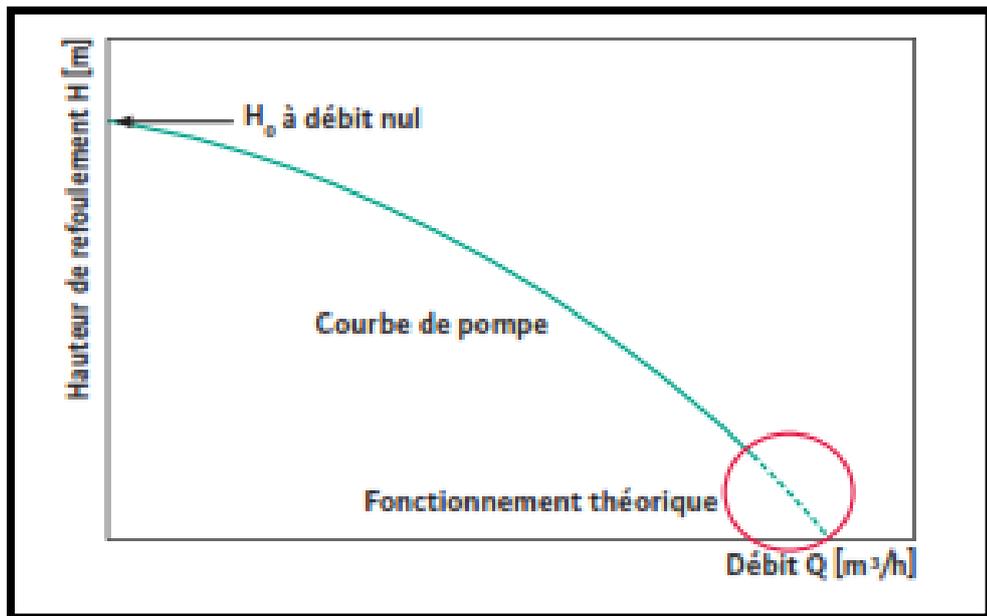


Figure N° 25 : Courbe de pompe  $H=f(Q)$ .

**ii. Courbe de rendement**

Le rendement d'une machine est le rapport de sa puissance restituée sur sa puissance fournie. Comme il n'existe pas de fonctionnement sans perte,  $\eta$  est toujours inférieur à 1 (100 %). En fonction des types et des dimensions des pompes prises en compte, le rendement peut varier grandement. Une pompe ne fonctionne jamais en un seul point défini. Par conséquent, lors de la sélection, assurez-vous que le point de fonctionnement de la pompe se trouve au milieu du premier tiers de la courbe de la pompe pour la majeure partie de la saison de chauffage. Cela garantira qu'elle fonctionnera dans la meilleure plage de rendement.

Le rendement de la pompe est déterminé par la formule suivante :

$$\eta_p = (Q \cdot H \cdot \rho) / (367 \cdot P_2) \dots\dots\dots (II.10)$$

$\eta_p$  = Rendement de la pompe,

$Q$  [m<sup>3</sup>/h] = Débit,

367 = Constante,

$H$  [m] = Hauteur de refoulement,

$P_2$  [kW] = Puissance à l'arbre de pompe,

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] = Densité du fluide.

Le rendement (ou performance) d'une pompe dépend de sa conception.

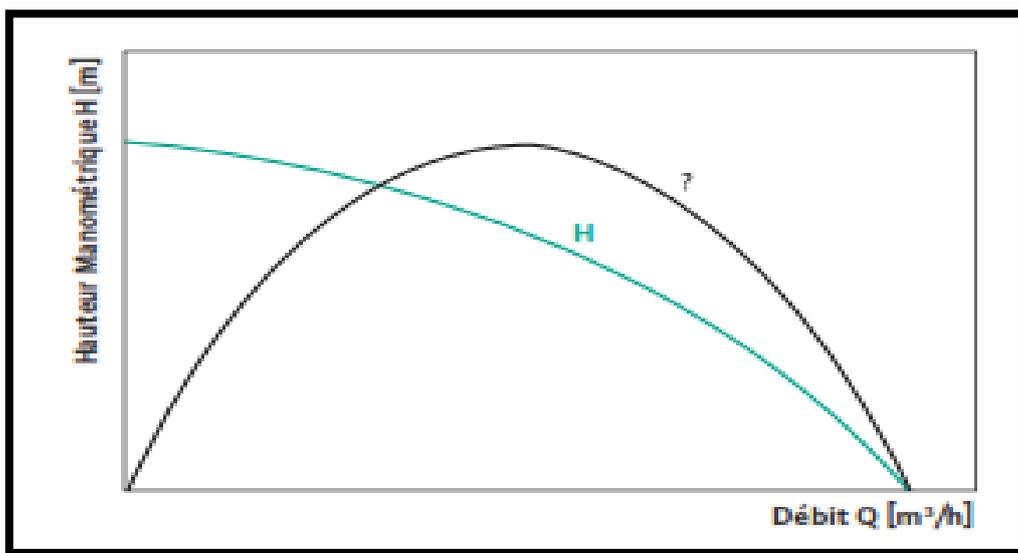


Figure N° 26 : Courbe de rendement.

### iii. Courbe des puissances absorbées

La puissance dont il s'agit ici est la puissance utile recueillie sur l'arbre de la pompe, elle se calcule à partir de  $H$ , dans les pompes centrifuges à faible et moyenne vitesse, les courbes caractéristiques de la puissance sont régulièrement ascendantes et atteignent parfois un maximum [14].

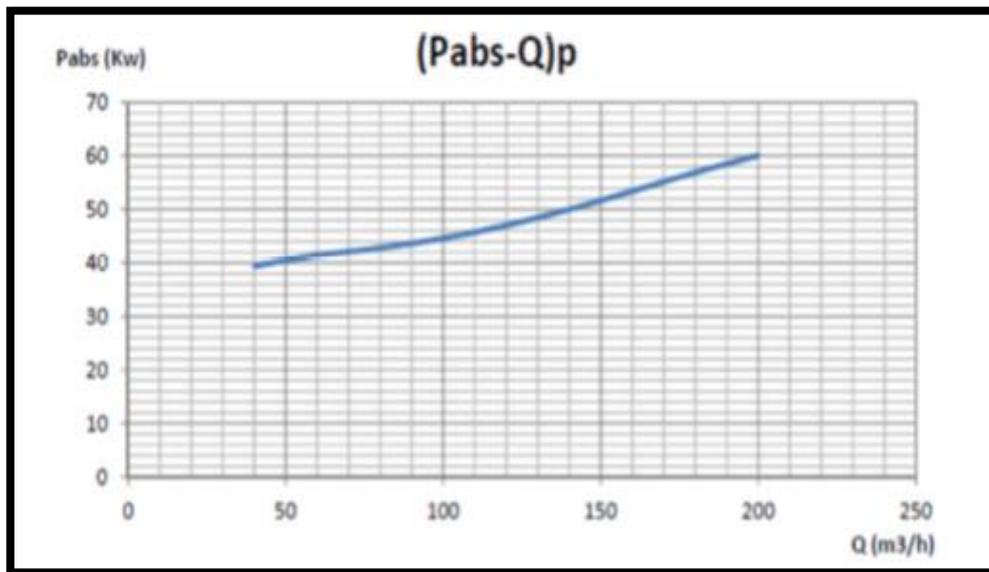


Figure N° 27 : Courbe de puissance absorbée  $P_{abs} = f(Q)$ .

### h. Point de fonctionnement

Le point où la courbe de pompe et la courbe réseau se croisent est le point de fonctionnement actuel du réseau d'alimentation en eau. Cela signifie qu'à ce point, il y a équilibre entre la génération de puissance de la pompe et la consommation d'énergie requise pour surmonter la résistance dans le système de tuyaux. Cela génère le débit que la pompe peut produire [17].

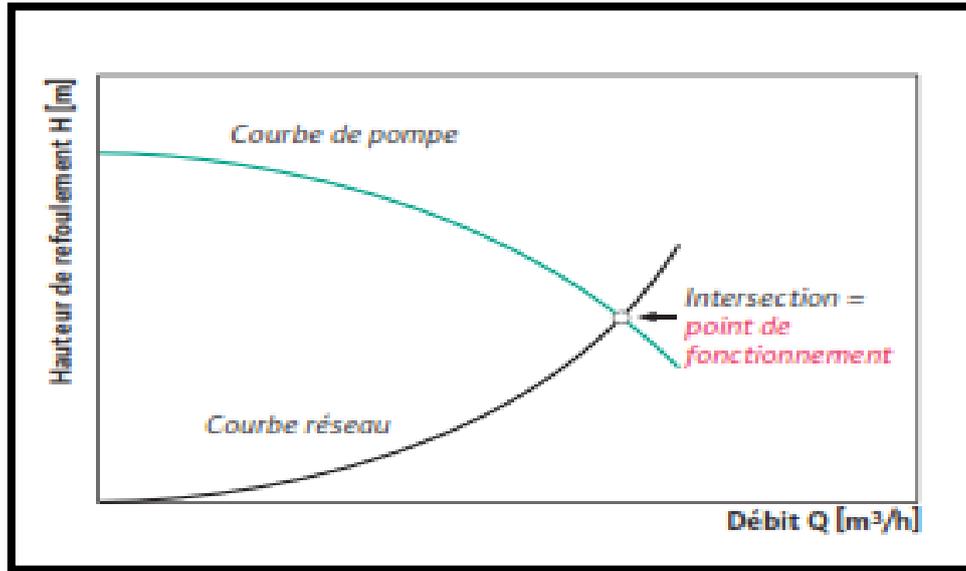


Figure N° 28 : Point de fonctionnement d'une pompe.

**i. La combinaison des pompes**

• **Le couplage en série**

Pour un débit donné, la hauteur d'élévation résultante est la somme des hauteurs partielles. La caractéristique correspondante devient :  $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$  et  $H = \sum H_i$

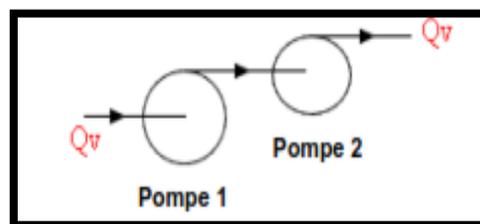


Figure 29 : Pompes en série.

• **Le couplage en parallèle**

Pour une hauteur donnée le débit de refoulement résultant est la somme des débits partiels.

On a  $Q = \sum Q_i$  et  $H = \text{const}$  [15].

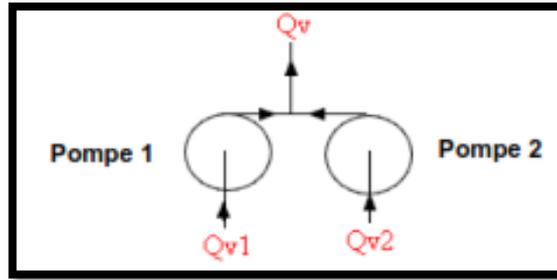


Figure N° 30 : Pompes en parallèle.

## ii. Amorçage des pompes

Quand la conduite d'aspiration est remplie d'air, il est impossible que la pompe puisse aspirer l'eau d'elle même. Il est alors nécessaire de prévoir un dispositif pour créer l'amorçage du pompage d'eau, donc de chasser l'air pour que l'eau puisse venir prendre sa place.

- **Amorçage par remplissage**

Il s'agit de remplir la pompe et la conduite d'aspiration avec de l'eau, l'air est chassé et la pompe peut être mise en marche. Un by-pass permet de faire ce remplissage à partir de l'eau contenue dans la conduite de refoulement. Cette opération exige une intervention manuelle et la présence d'un clapet à l'extrémité de la conduite d'aspiration.

- **Amorçage par pompe à vide**

Il consiste à faire le vide dans la canalisation d'aspiration au moyen d'une pompe à vide spéciale, indépendante de la pompe de relèvement d'eau. L'air est ainsi aspiré, la conduite d'aspiration se remplit alors d'eau, et la pompe peut être démarrée.

- **Amorçage sous pression**

Il s'agit de maintenir la conduite d'aspiration et la pompe toujours, même à l'arrêt, pleines d'eau en plaçant la pompe à un niveau inférieur au niveau d'eau minimal dans le réservoir d'aspiration. Ce mode d'amorçage est très simple et ne fait appel à aucun appareillage particulier.

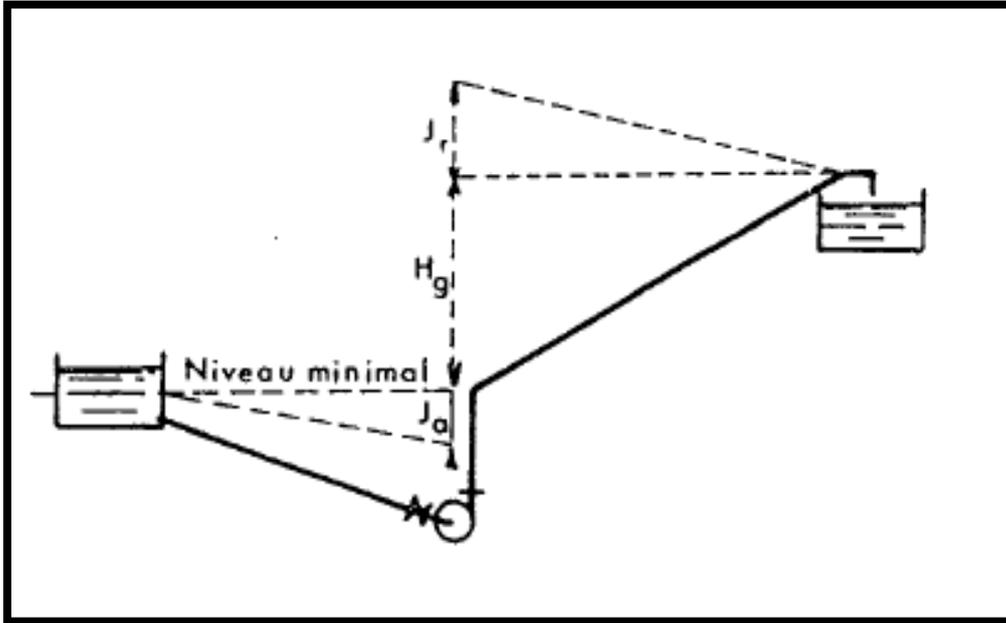


Figure N° 31 : Amorçage sous pression

- **Amorçage par noyade**

Il s'agit de placer la pompe, quand elle est destinée à fonctionner noyée, à un niveau situé au dessous du niveau d'eau dans l'ouvrage de captage. Ainsi, la pompe est toujours pleine d'eau et toujours amorcée. Elle peut donc démarrer sans aucun artifice. Ce mode d'installation de la pompe n'est valable que pour les pompes axiales.

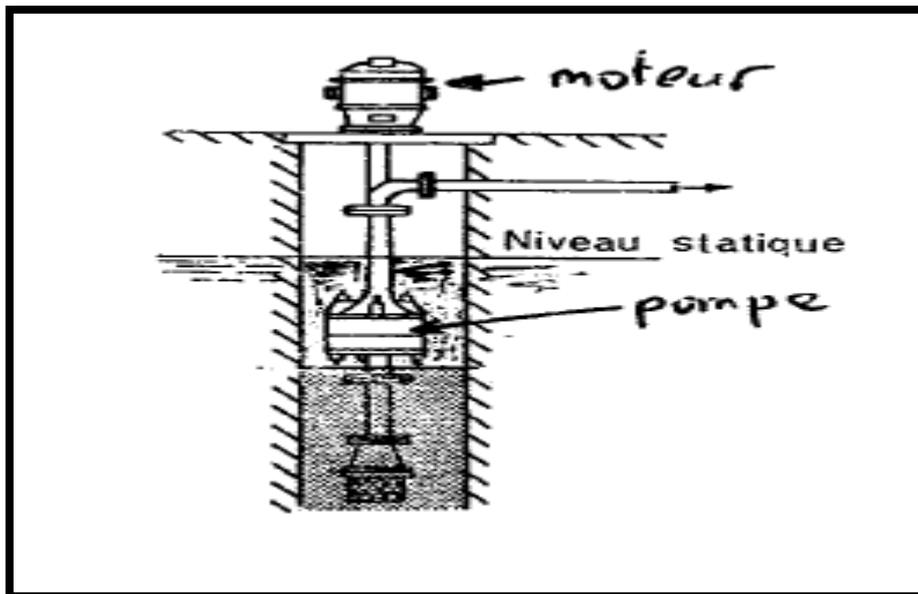


Figure N° 32 : Amorçage par noyade

### **k. Cavitation des pompes**

La cavitation est le phénomène qui se produit quand, en un point de l'écoulement, la pression statique devient égale à la pression de vapeur saturante du liquide.

Ce phénomène n'est pas à prendre à la légère tant l'impact à la fois sur le rendement de fonctionnement, mais surtout sur la survie du matériel, est important.

Afin d'éviter son apparition, il existe un critère basé sur la connaissance du réseau hydraulique amont à la pompe et sur les caractéristiques internes de celle-ci.

- **NPSH disponible**

Le NPSH disponible est, par définition, la valeur de la pression absolue mesurée sur l'axe de la bride d'aspiration de la pompe, compte tenu des dispositions prises à l'aspiration (diamètre du conduit, présence du clapet de pied, coudes...).

- **NPSH requis**

Chaque constructeur possède, pour chaque type de pompe et pour une vitesse de rotation déterminée, une courbe donnant la valeur du NPSH requis en fonction du débit de la pompe considérée. Afin que les conditions d'aspiration définies par l'utilisateur (NPSH disponible) soient toujours satisfaites par la pompe, il faudra que le NPSH disponible soit toujours supérieur au NPSH requis (de quelques décimètres).

La capacité d'aspiration NPSH disponible est la charge absolue à l'aspiration (en m)

$$\text{NPSH} = H_A = P_{\text{atm}} - H_g - J_a \dots\dots\dots \text{(II.10)}$$

$P_{\text{atm}}$  : Pression atmosphérique (10 m),

$H_g$  : Hauteur géométrique d'aspiration,

$J_a$  : Perte de charge dans la conduite d'aspiration.

On définit aussi, en fonction du débit, la condition d'apparition de la cavitation, par la mise en vitesse dans la pompe, par NPSH requis. Pour éviter que la cavitation apparaisse, il faut que l'on ait :

$$\text{NPSH disponible} > \text{NPSH requis}$$

La pression absolue soit supérieure à la tension de vapeur saturante. Cette pression étant mesurable en tout point du circuit, on est donc capable d'estimer la marge que le fluide dispose par rapport à la cavitation,  $p_{\text{abs}} - p_v(T)$ . Cette quantité variable dans le circuit, est appelée NPSH, (**Net Positive Suction Head**) (**Hauteur de Charge Nette Absolue**).

Cette valeur traduit l'énergie encore disponible dans le fluide, au-dessus du seuil de tension de vapeur saturante : c'est une réserve d'énergie. A l'entrée de la pompe, cette quantité va

atteindre une valeur minimale. En ce point du circuit (et uniquement), on parle de NPSH disponible. Cette réserve d'énergie dépend du fluide, et du type d'installation (réseau en aspiration ou en charge).

A l'intérieur de la pompe, l'écoulement perd de sa charge avant de recevoir l'énergie communiquée par la roue. Cette perte de charge  $p_0 - p_1$  n'est connue que par le fabricant de la pompe et dépend à la fois de la vitesse de rotation et du débit.

La quantité  $(p_0 - p_1)/(\rho g)$  est désignée sous le nom de NPSH requis, dont le constructeur propose une courbe de NPSH pour différents débits [12].

$$\frac{P_{abs} - P_v}{\rho g} - \frac{P_0 - P_1}{\rho g} > 0 \quad \text{ou} \quad NPSH_{disponible} > NPSH_{requis}$$

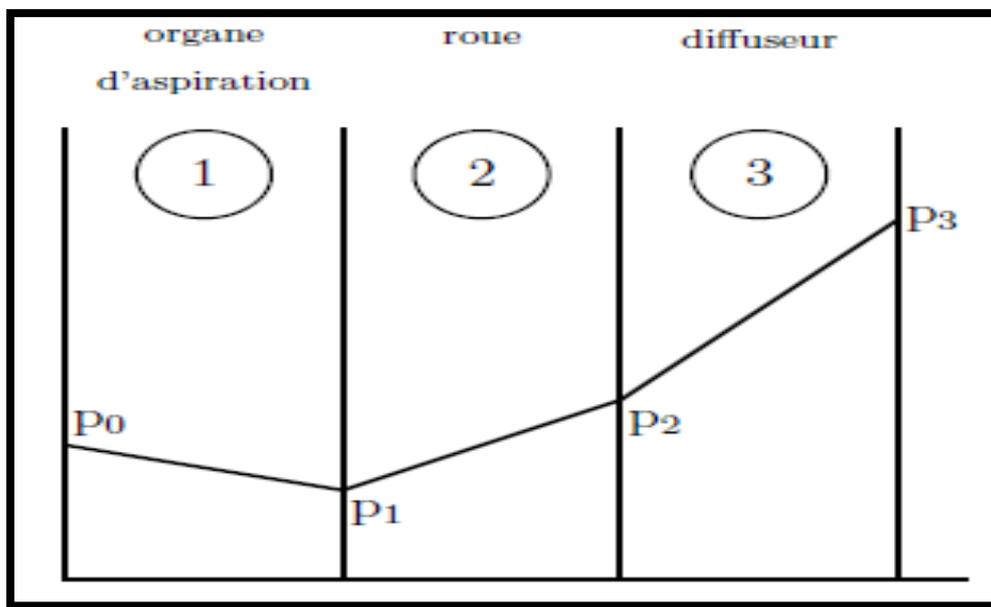


Figure N° 33 : Courbe de NPSH pour différents débits

### II.2.2. Diamètre économique

Pour élever un débit  $Q$  à une hauteur géométrique  $H$  donnée on peut, à priori, donner à la canalisation un diamètre quelconque car, en faisant varier la puissance du groupe élévatoire, on peut toujours obtenir le débit  $Q$  imposé dans un tuyau de diamètre donné. Si on adopte donc un grand diamètre, le prix ( $P_c$ ) de la canalisation sera élevé, par contre ( $J$ ) sera faible, on économise donc sur le prix du groupe ( $P_g$ ) et le prix ( $P_e$ ) de l'énergie nécessaire au pompage. Si au contraire on adopte un petit diamètre,  $P_c$  est plus faible mais  $P_g$  et  $P_e$  seront plus élevés. Il y a donc intérêt à choisir le diamètre qui permettra d'obtenir le prix de revient minimal de l'ensemble de l'installation en exploitation (par exemple le prix du  $m^3$  d'eau élevé, compte tenu de l'amortissement de la canalisation et du groupe élévatoire et de la consommation

d'énergie) en fonction du diamètre D. Actuellement, le diamètre économique est déterminé par une des relations suivantes :

- Bresse :  $D_{\text{éco}} = 1.5 (Q^{1/2})$ , ..... (II.11)
- Bonnin :  $D_{\text{éco}} = (Q^{1/2})$ ,
- Vuibert (1948) :  $D_{\text{éco}} = 1.35. (e/f)^{0.154} . Q^{0.46}$ , ..... (II.12)
- Munier (1961) :  $D_{\text{éco}} = (1+0.02 h) . \sqrt{Q}$  ..... (II.13).

D en m et Q en m<sup>3</sup>/s.

Les formules de Bresse, Bonnin et Munier donnent un calcul direct et rapide du diamètre d'une canalisation dans une installation de petite ou moyenne importance [18].

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite est celle de Darcy-Weisbakh :

$$\Delta H_t = \frac{K \cdot Leq \cdot Q^\beta}{D_{\text{éco}}^m} \text{ ..... (II.14)}$$

$\Delta H_t$ : Perte de charge totale (m) ;

K : Coefficient de perte de charge ;

Leq : Longueur équivalente de la conduite (m).

$$\mathbf{Leq = Lg + Le\epsilon} \text{ ..... (II.15)}$$

Lg: Longueur géométrique de la conduite (m) ;

Le $\epsilon$ : Longueur équivalente des pertes de charge singulière j(m).

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulières sont estimées à 15% des pertes de charge linéaires.

$$\Delta H_t = 1,15. \Delta H_{\text{lin}} \text{ ..... (II.16)} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{Leq = 1,15. Lg} \text{ ..... (II.17)}$$

$\Delta H_t$  : Perte de charge totale (m) ;

$\Delta H_{\text{lin}}$  : Perte de charge linéaire (m).

On suppose par hypothèse que la charge disponible entre le réservoir et la bache d'aspiration ( $H_d = C_{pR} - C_{pB}$ ), égale à la perte de charge totale.

Avec :

$H_d$  : Charge disponible,

$C_{pR}$  : Cote piézométrique du réservoir,

$C_{pB}$  : Cote piézométrique de la bache d'aspiration.

Le diamètre avantageux est calculé à base de la formule suivante :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' L_{eq} Q^\beta}{\Delta H}} \dots\dots\dots (II.18)$$

Avec :

$D_{av}$  : Diamètre avantageux calculé de la conduite (m),

$Q$  : Débit véhiculé par la conduite (m<sup>3</sup>/s),

$L_{eq}$  : Longueur équivalente de la conduite (m),

$\Delta H$  : la perte de charge (charge disponible) (m),

$\beta$  : Exposant tenant compte du régime d'écoulement,

$m$  : Exposant tenant compte du type du matériau [20].

Le choix du diamètre économique résulte d'un compromis entre les dépenses d'investissement et les dépenses de fonctionnement. En augmentant le diamètre de la canalisation cela induit une augmentation des dépenses d'investissement, mais on diminue les pertes de charge, et par conséquent les dépenses en énergie diminuent. D'autre part, plus le diamètre de la conduite est petit, plus les pertes de charge seront grandes et plus la puissance nécessaire au refoulement sera importante.

Ce dernier point fait qu'il existe un diamètre de refoulement optimum ou un diamètre économique.

**a. Détermination du coût total annuel d'installation**

**i. Frais d'investissement de la Conduite**

$$F_{inv} = K_1 \cdot L \cdot a \quad (DA) \dots\dots\dots (II.19)$$

$K_1$  : est le coût en DA/ml d'un mètre linéaire de la conduite, en tenant compte des frais de pose,

$L$  : est la longueur de la conduite en mètre (m),

$a$  : annuité d'amortissement donnée par la formule.

$$a = \frac{i}{(i+1)^n} + i \dots\dots\dots (II.20)$$

Où:

$i$  : taux d'annuité considéré en général  $i=10\%$ ,

$n$  : nombre d'années d'amortissement.

**ii. Coût d'installation de la station de pompage**

$$F_{inst} = K_2 \cdot p \cdot a \dots\dots\dots (II.21)$$

$K_2$  : coût d'un kW installé à la puissance réelle

$p$  : puissance réelle de fonctionnement en KW

$$F_{exp} = K_3 \cdot p \cdot t \quad \text{en KW} \dots\dots\dots (II.22)$$

$\eta$  : rendement de pompage  $\cong 77\%$ .

**iii. Frais d'exploitation (Fonctionnement  $K_3 \cdot p \cdot t$ )**

$$F_{exp} = K_3 \cdot p \cdot t \dots\dots\dots (II.23)$$

$K_3$ : coût d'un KWh d'énergie électrique,

$t$  : Temps de fonctionnement ;  $t = T \cdot 365 \cdot j$  ,

$T$  : Nombre d'heures de fonctionnement par jour ,

$P$  : Puissance réelle en KW,

$H_{mt}$  : hauteur totale d'élévation.

$$H_{mt} = H_g + \frac{8 \cdot Q^2}{g \cdot D^5 \cdot \pi^2} \cdot f \cdot L \dots\dots\dots (II.24)$$

$$H_{mt} = H_g + rLQ^2 \dots\dots\dots (II.25)$$

Où :

$H_g$  : Hauteur géométrique de refoulement,

$L$  : est la longueur de la conduite en mètre (m),

$r$  : résistance unitaire de la conduite  $\Rightarrow r = \frac{8.f}{D^5 .g.\pi^2}$

$f$  : coefficient de frottement.

Le tableau N°2 donne les différentes formulations du coefficient de frottement  $f$  en fonction des types de canalisations et d'écoulement.

Tableau N°12 : Formulations du coefficient de frottement  $f$ .

Type rugosité	Expression de coefficient de frottement $f$
Conduite lisse Karman-Prandtl	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \text{Log} Re \sqrt{f} - 0.8$
Conduite rugueuse Karman-Prandtl	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \text{Log} \frac{D}{2\varepsilon} + 1.74$
Conduite lisse $Re < 10^5$ Blasius	$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$
Conduite lisse $Re < 10^5$ Nikuradse	$f = \frac{0.221}{Re^{0.237}} + 0.0032$
Expression généralisé Colebrook et White	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left( \frac{\varepsilon}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$

#### iv. Coût total

Le coût total est donné par :

$$C_t = F_{inst} + F_{inv} + F_{exp} \dots\dots\dots (II.26)$$

$$C_t = K_1.L_a + K_2.P_a + K_3.P_t \dots\dots\dots (II.27)$$

$$Ct = (K_2.a + K_3.t) \cdot \frac{l.g.Q.Hmt}{1000.\eta} + K_1.L.a \dots\dots\dots (II.28)$$

$$Ct = (K_2.a + K_3.t).P + K_1.L.a \dots\dots\dots (II.29)$$

$$Ct = (K_2.a + K_3.t) \cdot \left[ \frac{l.g.Q.Hmt}{1000.\eta} + \frac{l.gr.L.Q^3}{1000.\eta} \right] + K_1.L.a \dots\dots\dots (II.30)$$

Le coût total annuel par mètre linéaire de longueur de conduite est une fonction variable des diamètres choisis [18].

### II.2.3. Vérification de la vitesse d'écoulement

Les vitesses admises dans les canalisations ne doivent pas être ni trop faibles face au risque de sédimentation, ni trop élevées pour la bonne tenue des conduites et éviter le phénomène d'érosions de la paroi des canalisations. D'une manière générale on constate que les vitesses correspondantes aux diamètres optimums répondent à ces critères [19].

Tableau N°13 : Variation des vitesses en fonction des diamètres.

Plages des vitesses (m/s)	Diamètres (mm)
0.5 < v < 1.5	<250
0.5 < v < 2.0	300 < D < 800
0.5 < v < 3.0	>800

La vitesse est calculée par la formule:

$$V = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (II.31)$$

Avec:

Q: Débit max horaire qui transite de conduite en (m<sup>3</sup>/s) ,

S: Section de la conduite en (m<sup>2</sup>).

Et la section est déterminé par:

$$S = \frac{\pi .D^2}{4} \dots\dots\dots (II.32)$$

D: Diamètre de la conduite en (m).

### II.3. Adduction mixte

C'est une adduction où la conduite par refoulement se transforme en conduite gravitaire ou l'inverse. Le relais entre les deux types de conduite est assuré par un réservoir appelé réservoir tampon [19].

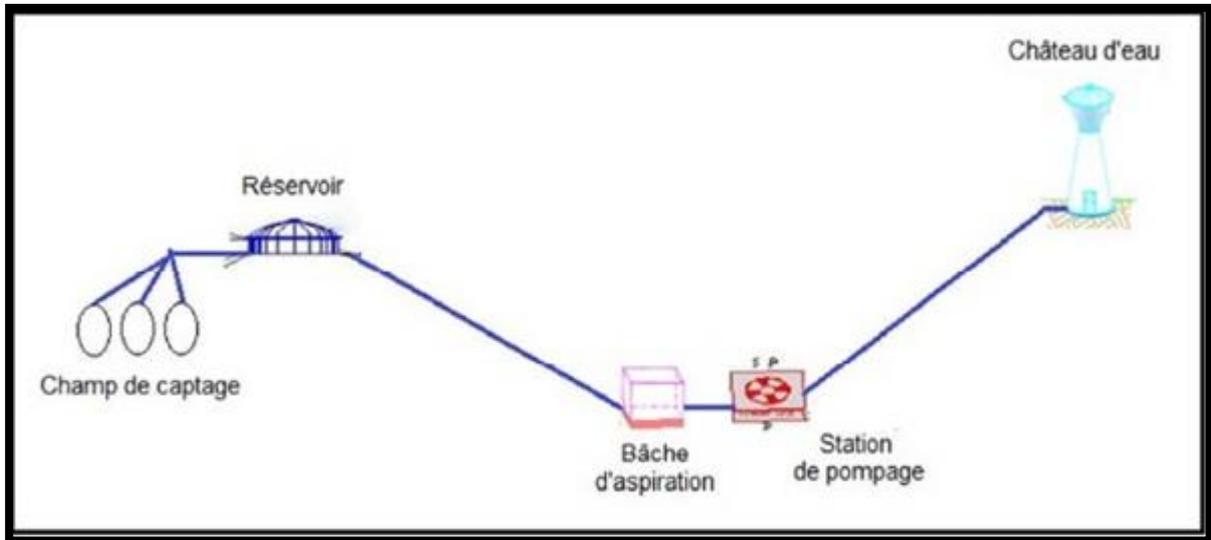


Figure N° 34: Schéma d'une adduction mixte

### II.4. Perte de charge

Les pertes de charge sont des chutes de pression dues à la résistance que rencontrent les fluides en écoulement: les actions de cisaillement occasionnent en effet des pertes énergétiques.

Les pertes de charge peuvent être :

- Linéaires ou régulières : elles correspondent alors à l'écoulement le long des conduites,
- Singulières : elles se manifestent sur les pièces spéciales qui modifient la direction ou la section de passage du fluide (raccord, T, vannes, soupapes, etc.).

Il est fondamental de savoir les calculer :

- Pour dimensionner les conduites d'écoulement;
- Pour calculer les caractéristiques des pompes et ventilateurs qui provoquent et/ou maintiennent l'écoulement des fluides.

### a. Pertes de charge linéaires

Les pertes de charges linéaire J (en m) sont définis par la formule de Darcy-Weisbach):

$$J = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} \dots\dots\dots (II.33)$$

$\lambda$ : Coefficient de perte de charge Il est sans dimension et est en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité de la paroi,

L : Longueur de la conduite en (m),

D : Diamètre (en m),

U : Vitesse moyenne (en m/s).

### b. Pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières, localisées dans une section de la conduite, sont provoquées par un changement de direction et d'intensité de la vitesse ou des obstacles ponctuels.

L'écoulement uniforme est perturbé et devient localement un écoulement non uniforme. La turbulence joue un rôle considérable, alors que les forces de viscosité sont négligeables. La perte de charge n'a donc lieu qu'en régime turbulent. Une telle non-uniformité de la vitesse peut être provoquée par :

- Un branchement de section de la conduite,
- Un changement de direction (coude),
- Un branchement ou raccordement,
- Un dispositif de mesure et contrôle de débit.

Comme pour les pertes de charge linéaire, les pertes de charges singulières se traduisent par la relation :

$$\Delta H = K \frac{U^2}{2g} \dots\dots\dots (II.34)$$

K est en fonction des caractéristiques géométriques et du nombre de Reynolds [20].

## II.5. Equipement en ligne

### II.5.1.. Vidange

Il est facile d'imaginer que l'eau qui émerge de terre, parfois avec une certaine vitesse, entraîne dans ses turbulences des corps inertes (poussière, sable ou petits cailloux) qui vont, à

l'occasion d'un écoulement plus régulier et moins agité, venir se déposer dans les points bas des adductions. On comprend donc aisément l'intérêt qu'il y a de disposer d'une vidange qui permettra de temps à autre, de vider l'adduction en entraînant ainsi l'ensemble des dépôts qui obstruent les tuyaux.

### **II.5.2. Ventouse**

On installe les ventouses pour des petites quantités d'air, aux points élevés du réseau dans le but d'évacuer de petites quantités d'air qui s'y accumulent à la suite, par exemple, du gazage de l'oxygène dissous. On n'installe toutefois pas d'évent sur les conduites de 300 mm ou moins de diamètre, car ces conduites évacuent l'air directement dans les entrées de service et les équipements domestiques. Les ventouses permettent également de faire pénétrer l'air dans les conduites lorsqu'un vide se crée. Elles agissent alors comme reniflards et évitent la création de pressions négatives qui risqueraient d'entraîner l'écrasement des conduites ou l'aspiration d'eau impropre à la consommation.

On utilise aussi autre type de ventouses pour grandes quantités d'air qui permettent à de grandes quantités d'air de s'échapper des conduites ou d'y pénétrer. Elles sont utiles lorsque, par exemple, on vide ou remplit une conduite lors de réparation.

Enfin, on peut combiner les deux types de ventouses universelles qui permettent l'entrée ou l'évacuation de petites et de grandes quantités d'air [19].

La figure N°16 montre le fonctionnement d'une ventouse.

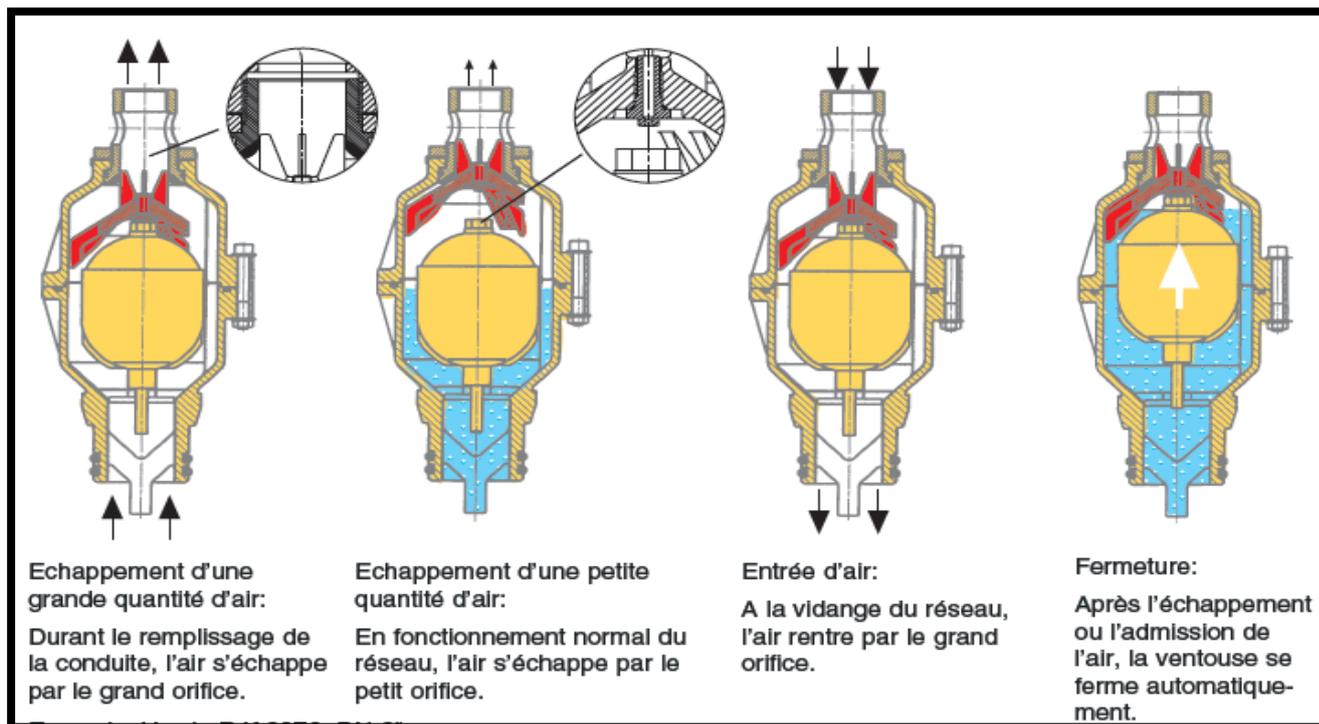


Figure N° 35 : Schéma de fonctionnement d'une ventouse.

### II.3.4. Protections contre le coup de bélier

#### a. Appareils de protection

Les appareils anti-bélier les plus utilisés sont les suivants :

- les volants d'inertie, pour la limitation des dépressions,
- les soupapes de décharge, pour la limitation des surpressions,
- les réservoirs d'air et les cheminées d'équilibre, pour la limitation, à la fois, des surpressions et des dépressions.

##### i. Volants d'inertie

Le volant d'inertie est un disque, de grande inertie, dont la masse est concentrée près de la périphérie. Calé sur l'arbre du groupe motopompe, le volant accumule de l'énergie pendant la marche normale, et il la restitue au moment de l'arrêt du moteur. Il permet ainsi d'allonger le temps d'arrêt de la pompe, donc de diminuer l'intensité du coup de bélier dans la conduite de refoulement.

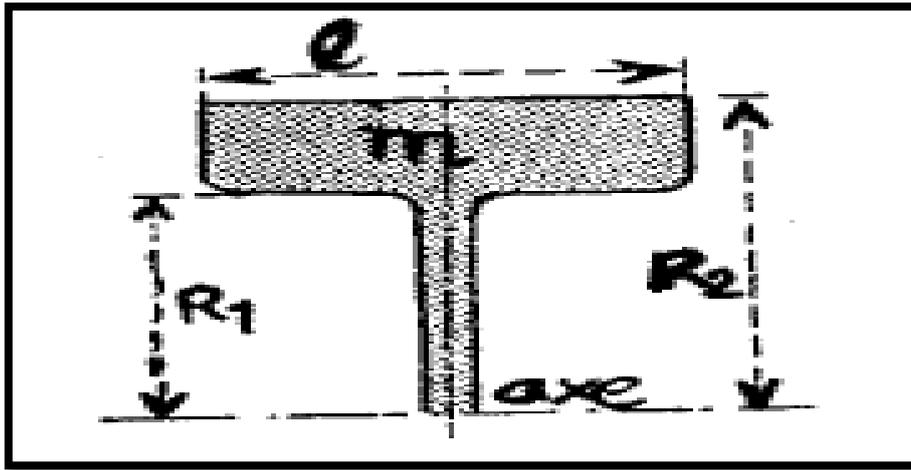


Figure N° 36 : Volant d'inertie.

### ii. Soupapes de décharge

C'est un ressort à boudin qui, en exploitation normale, par sa compression, obture un orifice placé sur la conduite au point à protéger. En cas de surpression, il s'ouvre très rapidement pour libérer le débit de retour dans la conduite, il permet ainsi de limiter la valeur de cette surpression. Cette soupape ne s'ouvre que si la pression dans la conduite dépasse de 5 % la pression maximale de fonctionnement normal.

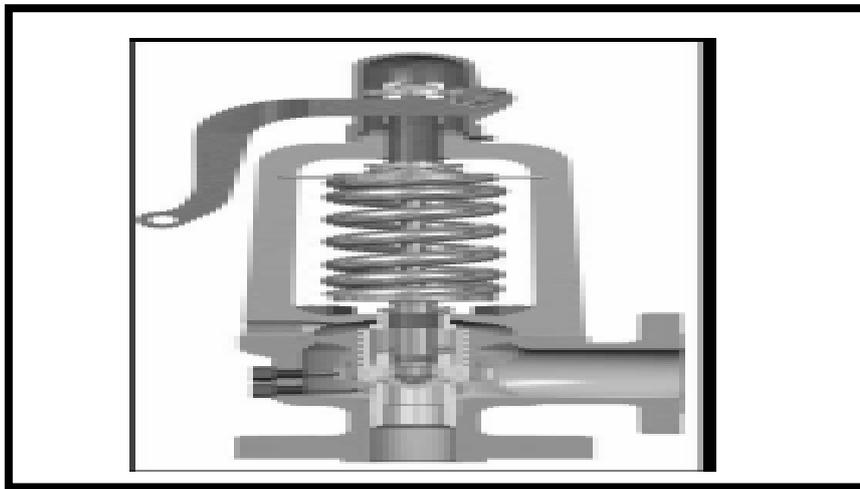


Figure N° 37 : Soupape de décharge.

### iii. Réservoirs d'air

C'est un réservoir placé sur la conduite et contenant de l'eau et de l'air sous pression. La pression dans l'air, en marche normale, équilibre la pression dans la conduite. En cas de coup de bélier, ce réservoir va alimenter la conduite en eau lors de la dépression (par suite de la dilatation du volume d'air) et récupérer l'eau à partir de la conduite lors de la surpression (par

suite de la compression du volume d'air). Ainsi, il permet de limiter aussi bien la dépression que la surpression.

Le coup de bélier est un phénomène oscillatoire de la pression (entre surpressions et dépressions).

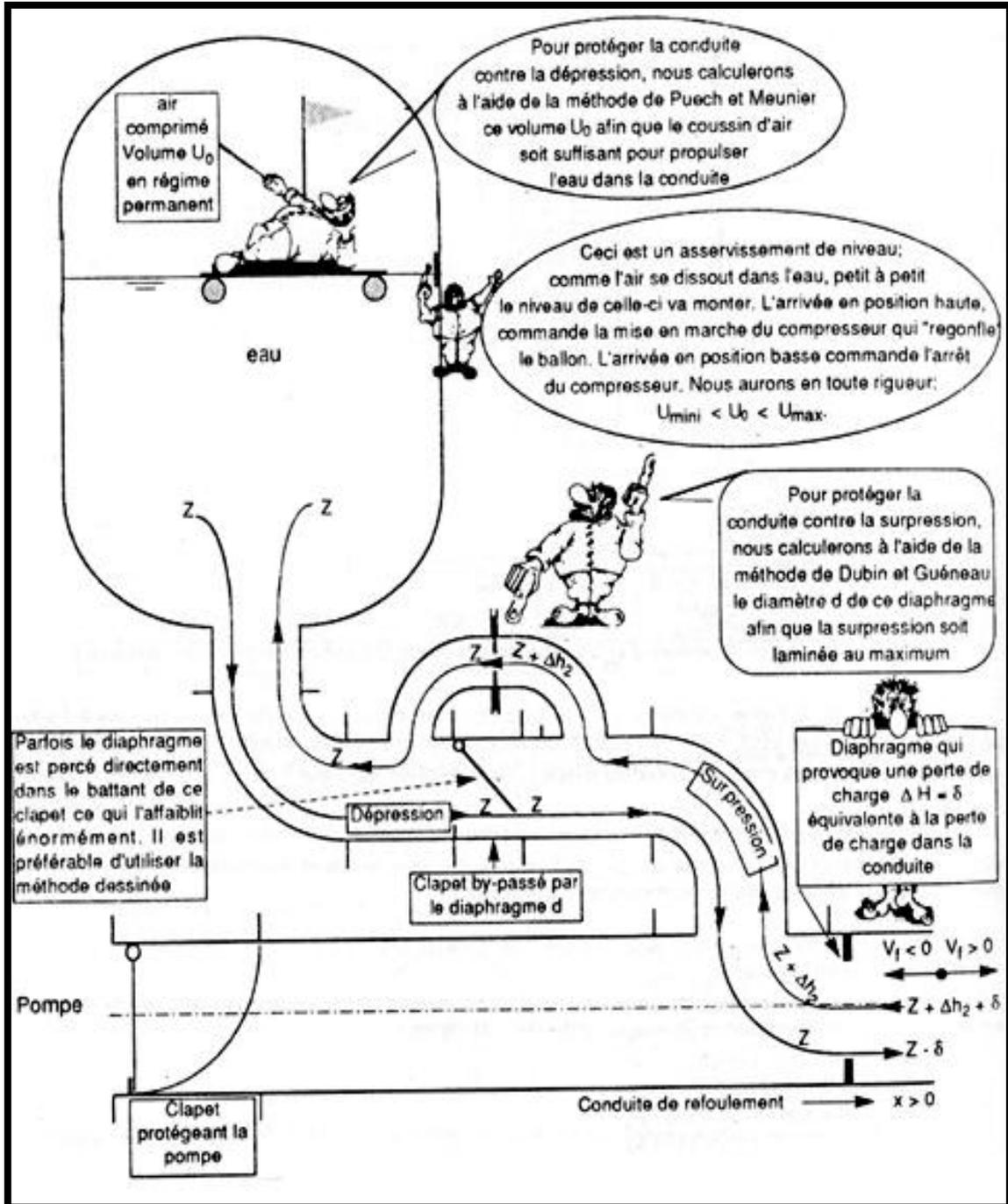


Figure N° 38 : Installation type pour la protection d'une adduction contre le coup de bélier.

**b. Calcul de l'onde de propagation**

Une onde prend alors naissance dans la conduite, se propageant avec la célérité du son " a ", dont la valeur dépend de la compressibilité de l'eau et de l'élasticité du tuyau. Allievi donne, pour la vitesse a de l'onde, la valeur suivante (en m/s)

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{KD}{e}}} \dots\dots\dots (II.35)$$

D: Diamètre de la conduite,

e : épaisseur de la conduite,

K: Dépend de la nature de la conduite.

Tableau N°14 : Valeurs de K en fonction de la nature de conduite.

Matériaux	Fer	Acier	Fonte grise	Fonte ductile	Béton	Amiante ciment	PVC	PEHD	PEBD
Valeurs K	0.5	0.5	1	0.59	5	4	33	83	500

**c. Valeur numérique du coup de bélier**

Supposons que la vitesse moyenne dans la conduite (de longueur L) avant la fermeture d'une vanne (ou l'arrêt d'une pompe) est U<sub>0</sub>. La valeur du coup de bélier dépend du type de fermeture:

**i. Cas d'une fermeture brusque**

Si le temps de fermeture est inférieur à 2.L/a, La valeur maximale du coup de bélier peut atteindre

$$B = a.U_0/g \dots\dots\dots (II.36)$$

Dans laquelle 'a' est la célérité de l'onde et g est l'accélération de la pesanteur.

**ii. Cas d'une fermeture lente**

Si le temps de fermeture t<sub>r</sub> est supérieur à (2.L)/a, la valeur maximale du coup de bélier peut atteindre

$$B = (2L.U_0)/(g.t_r) \dots\dots\dots (II.37)$$

Notons que cette valeur maximale est retrouvée dans une zone proche de la vanne, dans le cas d'une conduite d'adduction, ou proche de la pompe, dans le cas d'une conduite de refoulement.

**d. Etude de la dépression**

Pour l'étude de la dépression et le calcul de  $U_0$  (volume d'air) ; nous utilisons la méthode de PUECH et MEUNIER., utilise trois (3) nombres adimensionnels :

$K$  : Qui caractérise les pertes de charges,

$A$  : Qui caractérise la conduite de refoulement,

$B$  : Qui caractérise le volume d'air du réservoir anti-bélier.

- $K$  : qui caractérise les pertes de charges,

$$K = (H_{abs} - H_0) / H_0 \dots\dots\dots (II.38)$$

Avec

$H_{abs}$  : Hauteur manométrique totale absolue ( $H_{abs} = H_{MT} + 10$ ) en (m),

$H_0$  : Pression statique absolue ( $H_0 = H_G + 10$ ) en (m).

- $A$  : qui caractérise la conduite de refoulement,

$$A = a \cdot V_0 / (g \cdot H_0) \dots\dots\dots (II.39)$$

Avec :

$a$  : Célérité (m/s), سرعته

$V_0$  : Vitesse dans la conduite en régime permanent (m/s),

- $B$  : Caractérise le volume d'air du réservoir anti-bélier.

$$B = V_0^2 \cdot L \cdot s / (g \cdot H_{abs} \cdot U_0) \dots\dots\dots (II.40)$$

Avec

$L$  : Longueur de la conduite en (m),

$s$  : Section de la conduite en (m<sup>2</sup>),

$U_0$  : Volume d'air du ballon anti-bélier en régime permanent en (m<sup>3</sup>).

Ayant calculé  $K$  et  $A$ , nous superposerons la famille de courbes  $B$  au profil en long. Nous choisirons la courbe qui laisse au moins une sécurité de 3 m de pression absolue au-dessus du point le plus défavorable du profil. La valeur de  $B$  qui sera ainsi déterminé pour calculer le volume de l'air  $U_0$ . Puis on détermine le volume maximal de l'air  $U_{max}$  qui correspond à la plus faible pression lu sur le graphique  $P_{mini}$  par la formule suivante :

$$P_{\min} \cdot U_{\max}^{1,2} = H_{\text{abs}} \cdot U_0^{1,2} \dots\dots\dots (\text{II.41})$$

Si nous voulons qu'il reste encore 20 % d'eau lors de la plus grande dépression, il nous faut prévoir un ballon de volume  $\tau$  égal à :

$$\tau = U_{\max} + (20\% \cdot U_{\max}) \dots\dots\dots (\text{II.42})$$

**e. Etude de la surpression**

Le calcul de la surpression ; se fait grâce à l'abaque de *DUBIN* et *GUENEAU*.

D'après les nombres adimensionnels calculés *A* et *B* ; nous lisons dans l'abaque

(voir annexe 1)

- $\alpha V_0^2 / H_0$  .....axe des abscisses,
- $P_{\max} / H_0$  .....axe des ordonnés.

**f. Calcul d'un réservoir d'air**

En négligeant les pertes de charge, la compressibilité de l'eau et l'élasticité de la conduite, Vibert arrive à une expression simple qui donne le volume  $V_0$  d'air contenu dans le réservoir en régime de marche normale. Ce volume d'air  $V_0$  est à la pression absolue  $Z_0$  exprimée en mètres d'eau (c'est la pression dans la conduite  $H_0$ , + 10 m).

- A la fin de la dépression, le volume d'air se dilate et atteint  $V_{\max}$  à la pression absolue  $Z_{\min}$
- A la fin de la surpression, le

Volume d'air se comprime, jusqu'à  $V_{\min}$  à la pression absolue  $Z_{\max}$

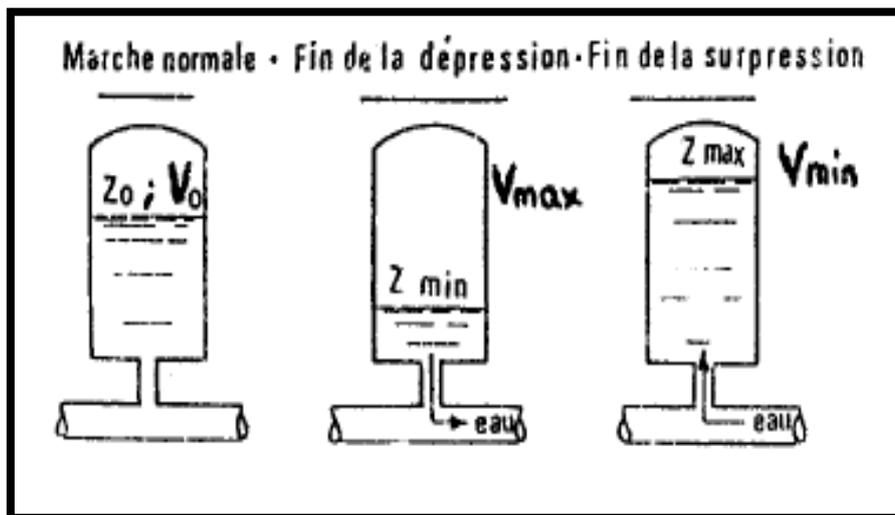


Figure N° 39 : Principe de réservoir d'air.

L'expression de  $V_0$  est la suivante:

$$\frac{V_0}{L.S} = \frac{U_0^2}{2 g Z_0} - \frac{1}{f(Z/Z_0)} \dots\dots\dots (II.43)$$

Avec:  $f\left(\frac{Z}{Z_0}\right) = \frac{Z_0}{Z_{\min}} - 1 - \log - \frac{Z_0}{Z_{\min}} \dots\dots\dots (II.44)$

$U_0$ : Vitesse moyenne dans la conduite en marche normale(en m/s) ,

L: Longueur de la conduite (en m) ,

S: Section de la conduite (en m<sup>2</sup>) ,

$V_0$ : Volume d'air (en m<sup>3</sup>) ;  $Z_0$  et  $Z_{\min}$  en m [21].

### CONCLUSION

Ce chapitre a été orienté vers l'ensemble des aspects liés aux dimensionnement et conception des transferts d'eau, objet de notre mémoire. Il a traité les paramètres et critères hydrauliques servant aux dimensionnements des canalisations de transferts, installations, ouvrages en ligne et protection contre les coups de bélier. Les aspects abordés dans cette partie du travail ont constitués des bases fondamentales pour leur application au cas de transferts des eaux à étudier ultérieurement.

## I. SITUATION DE L'EAU POTABLE DE LA VILLE D'ALGER

La population de la ville d'Alger comptait 2 562 373 habitants en 2002. Tenant compte du taux d'accroissement, cette population atteindra 3 680 823 habitants en 2020. D'après les données recueillies au niveau de l'agence du bassin algérois - Hodna - Soummam AHS, les besoins en eau à l'horizon 2020 pour les différents secteurs seront de 590,5 Hm<sup>3</sup> répartis selon la figure N°40.

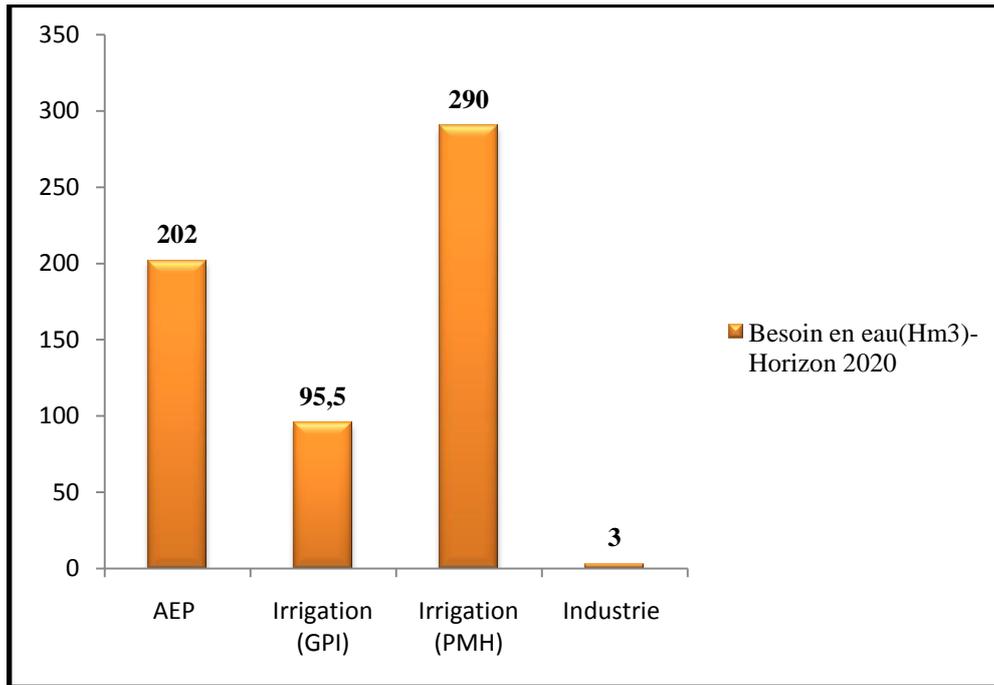


Figure N°40: Besoins en eau des différents secteurs à l'horizon 2020.

GPI: Grand périmètres d'irrigation,

PMH: Petite et moyenne hydraulique [22].

Pour les besoins en eau potable, la figure N°41 donne l'évolution depuis 2000 jusqu'à l'horizon 2020 de ces besoins.

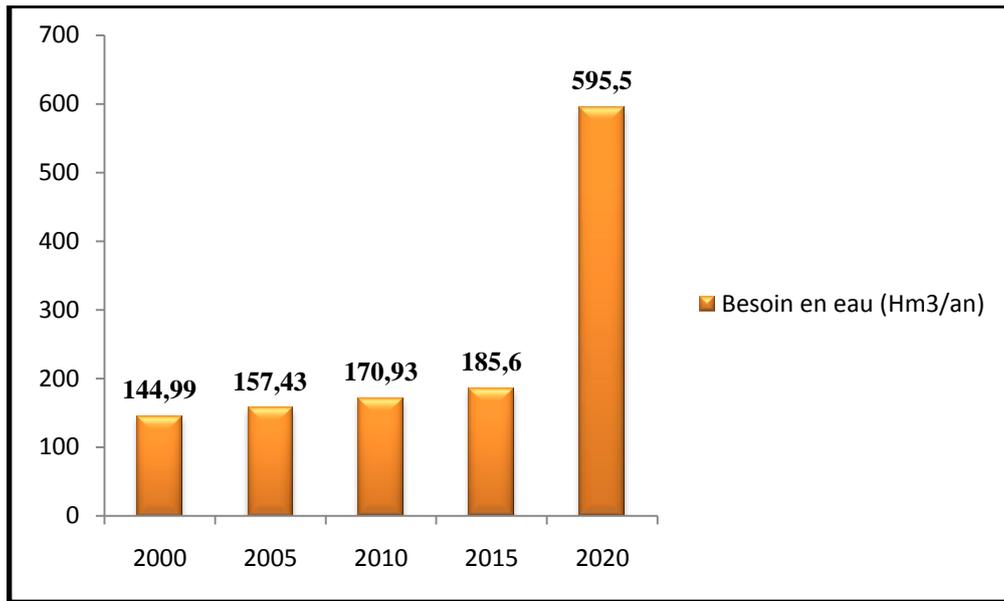


Figure N°41: Evolution des besoins en eau dans la ville d'Alger.

Toute fois, la zone ouest regroupant les communes de douera, Baba Hassen, Draria, El Achour, Ouled Fayet, Dely Brahim, Beni Messous et Bouzerréah connaît relativement, aux autres zones, des déficits importants.

La situation actuelle de la wilaya d'Alger (une population de 2 562 373 habitants) se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources en eau disponible. Ce qui a conduit les pouvoirs publics à diversifier les solutions de sécurisation des besoins en eau potables.

La figure N°42 donne la participation de chaque type de mobilisation dans la satisfaction des besoins en eau potable [23].

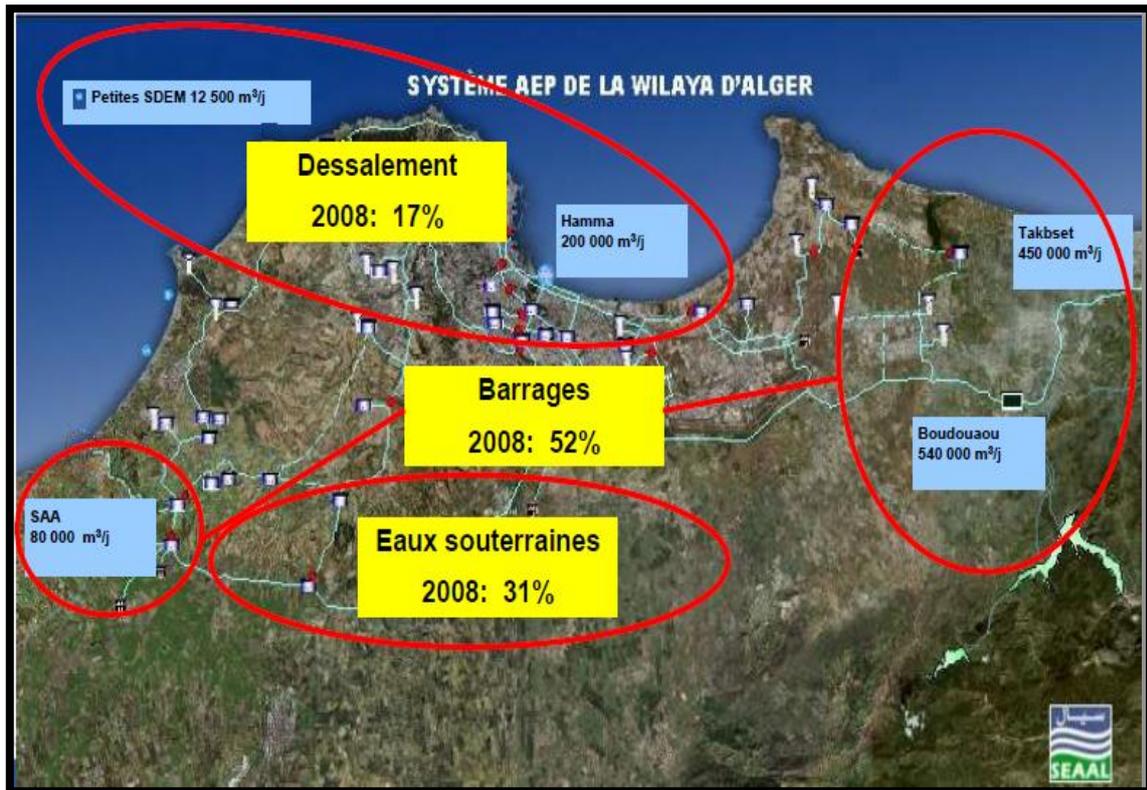


Figure N°42: Système d'AEP de la wilaya d'Alger.

## II. OBJECTIF DU TRANSFERT A PARTIR DU BARRAGE DOUERA

La conduite de transfert d'AEP est projetée dans le cadre de l'utilisation du barrage de DOUERA pour renforcer l'approvisionnement en eau potable des zones à l'ouest de l'agglomération d'Alger. Le piquage se fait sur la conduite à l'amont de la chambre des vannes et le raccordement se fait au niveau de la station de traitement existante SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger (Tassala, Merdja).

## III. DESCRIPTION DU TRANSFERT

La conduite du transfert par gravité prendra naissance à l'amont de la chambre des vannes en réalisation pour l'irrigation.

Elle traversera la conduite 2 000 mm destinée à l'irrigation et par la suite la conduite de la vidange du fond du barrage. La conduite va longer la piste existante. Arrivant du côté de la RN 67, le tracé de la conduite suivra parallèlement les conduites d'A.E.P existantes du côté haut de la route jusqu'à la station existante de traitement du système.

Le tracé du transfert matérialisé sur le fond Google - earth est présenté sur la figure N°43.



Figure N°43: Tracé du transfert du barrage Douera vers Ouest d'Alger

Le comité d'évaluation et d'affectation des ressources en eau à partir des barrages en exploitation a alloué un volume de  $21 \text{ Hm}^3/\text{an}$  à partir de Douera en vue de renforcer et sécurisé l'AEP d'Alger Ouest et de Blida à partir de la station SAA. La conduite de liaison devra être dimensionnée pour un débit moyen de  $80\,000 \text{ m}^3/\text{j}$ . Elle possède une longueur de 12 km [24].

### III.1. Barrage Douera

Le barrage de Douera constituant la source du transfert vers la zone ouest d'Alger et possède les caractéristiques suivantes:

- Barrage en terre à noyau argileux et recharges en matériaux gréseux,
- Début de réalisation: 2004,
- Hauteur maximale : 85 m,
- Longueur de crête : 820 m,
- Côte retenue normale : 138 m NGA,
- Côte de crête : 142 m NGA,
- Volume de remblais :  $6\,350\,000 \text{ m}^3$ ,
- Galerie de dérivation provisoire,
- Vidange de fond et transfert :

- Longueur : 383 m,
- Diamètre : 3,5 m,
- Débit maximal : 18,5 m<sup>3</sup>/s [25].



Figure N°44 : Vue en aval sur le barrage de Douera.

Ce barrage collecte les eaux des deux oueds 'EL HARRACH ET MAZEFREN' destiné à l'irrigation du périmètre de la Mitidja centre pour une superficie d'environ 17 200 Ha [26].

### III.2. Conduite de transfert

Le projet initial dans le cadre de son avant projet détaillé APD stipulait un transfert gravitaire depuis le barrage Douera jusqu'au piquage au niveau de la station SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger. Le niveau d'eau considéré pour la conception du transfert dans le barrage est le niveau 103 m NGA. La conduite projetée initialement est du type BPAT de diamètre intérieur 800 mm. Cette première partie du travail consiste à reprendre les calculs hydrauliques du transfert en considérant un niveau d'eau dans la retenue de 138 m NGA correspondant au niveau de retenue normale, de dresser le profil piézométrique du transfert afin de vérifier les pressions nominales des canalisations BPAT projetées en PN10 et analyser l'influence du niveau de la retenue arrêtée sur le profil piézométrique du transfert.

## IV.DIMENSIONNEMENT HYDRAULIQUE - APD

### IV.1. Débit d'écoulement

La formule de base de continuité :

$$Q=V. S \dots\dots\dots (II.45)$$

Avec :

Q : Débit en m<sup>3</sup>/s,

V : Vitesse en m/s,

S : Section de la conduite en m<sup>2</sup>.

## IV.2. Pertes de charges

### IV.2.1. Pertes de charge linéaire

Les pertes de charge linéaires qui correspondent aux frictions de l'eau contre les parois de la tuyauterie:

$$\Delta H_f = J. L \dots\dots\dots (II.46)$$

J : Perte de charge unitaire (m/m),

L : Linéaire de la conduite.

Le calcul des pertes de charges correspondant à un débit donné, pour un certain diamètre ou une vitesse d'écoulement particulière repose sur une formule établie par Darcy - Weisbach :

$$J = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (II.47)$$

Où :

$\lambda$  : Coefficient de pertes de charge,

V : Vitesse de l'eau (m/s),

g : Accélération de la gravité (m/s<sup>2</sup>),

D: Diamètre intérieur (m).

$\lambda$  Est calculé à l'aide de la formule de Colebrook :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left[ \frac{k}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right] \dots\dots\dots (II.48)$$

Où :

k : Coefficient de rugosité absolu (hauteur maximale des aspérités de la surface intérieure),

Re : Nombre de Reynolds,

$$\mathbf{Re} = \frac{\mathbf{V} \cdot \mathbf{D}}{\mathbf{v}} \dots\dots\dots (\text{II.49})$$

Où  $v$  est la viscosité cinématique de l'eau ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) qui dépend de la température. Pour l'eau à  $20^\circ\text{C}$ ,  $v=1.01.10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

#### **IV.2.2. Pertes de charges singulières**

Les pertes de charge singulières correspondent à la présence d'un obstacle particulier, coude, vanne, etc. elles sont estimées à 15 % de celle des pertes de charge linéaires.

#### **IV.2.3. Profil du transfert**

En fonction des profils en long du transfert, il a été considéré 21 positions. Le tableau N°15 donne les éléments des profils au niveau des points considéré ainsi que la matérialisation des points hauts et bas du transfert.

Tableau N°15: Points hauts et points bas du transfert.

Désignation des points	Côte TN (m)	Positions
1	75,63	Haut
2	75,65	Haut
3	76,06	Haut
4	68,69	Bas
5	48,36	Bas
6	43,28	Bas
7	38,42	Bas
8	35,17	Bas
9	34,31	Bas
10	39,24	Haut
11	33,97	Bas
12	31,15	Bas
13	32,19	Haut
14	31,66	Bas
15	29,84	Bas
16	27,1	Bas
17	36,3	Haut
18	30,79	Bas
19	21,88	Bas
20	22,84	Haut
21	21,68	Bas

#### IV.2.4. Reprise des calculs hydrauliques du transfert : côte retenue du barrage 103.00 m NGA

Dans cette partie du travail on procède à la reprise des calculs hydrauliques du transfert en considèrent la côte de la retenue arrêtée lors de la l'élaboration de l'avant projet détaillé soit 103 m NGA. Les calculs ont utilisé les données du profil en long du transfert pour le calcul des pressions du profil piézométrique. Ces calculs sont présentés sur ce tableau N°16. Le profil piézométrique est schématisé sur la figure N°46.

Tableau N°16 : Reprise des calculs hydrauliques du transfert – côte retenue barrage 103 m NGA.

Q = 0.93 m <sup>3</sup> /s    V=1.84 m/s    D <sub>ext</sub> = 970 mm    D <sub>int</sub> =800 mm    n=0.5												
N° tronçon	Longueurs partielles (m)	Longueurs cumulées (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression au sol (Bar)	PN arrêtée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval					
1	4,24	4,24	0,02	103	102,98	75,63	75,65	27,37	27,33	2,74	4,74	10,00
2	575,76	580	2,24	102,98	100,74	75,65	76,06	27,33	24,68	2,69	4,69	10,00
3	600	1180	2,34	100,74	98,40	76,06	68,69	24,68	29,71	3,43	5,43	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	98,40	96,31	68,69	48,36	29,71	47,95	5,46	7,46	10,00
5	583,44	2300	2,27	96,31	94,04	48,36	43,28	47,95	50,76	5,97	7,97	10,00
6	536,61	2836,61	2,09	94,04	91,95	43,28	38,42	50,76	53,53	6,46	8,46	10,00
7	543,39	3380	2,12	91,95	89,83	38,42	35,17	53,53	54,66	6,78	8,78	10,00
8	600	3980	2,34	89,83	87,49	35,17	34,31	54,66	53,18	6,87	8,87	10,00
9	560	4540	2,18	87,49	85,31	34,31	39,24	53,18	46,07	6,37	8,37	10,00
10	540	5080	2,10	85,31	83,21	39,24	33,97	46,07	49,24	6,90	8,90	10,00
11	540	5620	2,10	83,21	81,10	33,97	31,15	49,24	49,95	7,18	9,18	10,00
12	520	6140	2,03	81,10	79,08	31,15	32,19	49,95	46,89	7,08	9,08	10,00
13	600	6740	2,34	79,08	76,74	32,19	31,66	46,89	45,08	7,13	9,13	10,00
14	540	7280	2,10	76,74	74,64	31,66	29,84	45,08	44,80	7,31	9,31	10,00
15	540	7820	2,10	74,64	72,53	29,84	27,1	44,80	45,43	7,59	9,59	10,00
16	530,3	8350,3	2,07	72,53	70,47	27,1	26,3	45,43	44,17	7,67	9,67	10,00
17	549,7	8900	2,14	70,47	68,33	36,3	30,79	34,17	37,54	7,22	9,22	10,00
18	549,7	9449,7	2,14	68,33	66,18	30,79	21,88	37,54	44,30	8,11	10,11	12,00
19	554,07	10003,77	2,16	66,18	64,03	21,88	22,84	44,30	41,19	8,01	10,01	12,00
20	485,93	10489,7	1,89	64,03	62,13	22,84	21,68	41,19	40,45	8,13	10,13	12,00
21	373,72	10863,42	1,46	62,13	60,68	21,68	25,38	40,45	35,30	7,76	9,76	10,00

- Côte piézo = Côte piézo amont - JT,
- Charge résiduelle = Côte piézo - Côte TN,
- Pression au sol = Côte piézo - Côte TN aval,
- Côte TN (profil topographique).

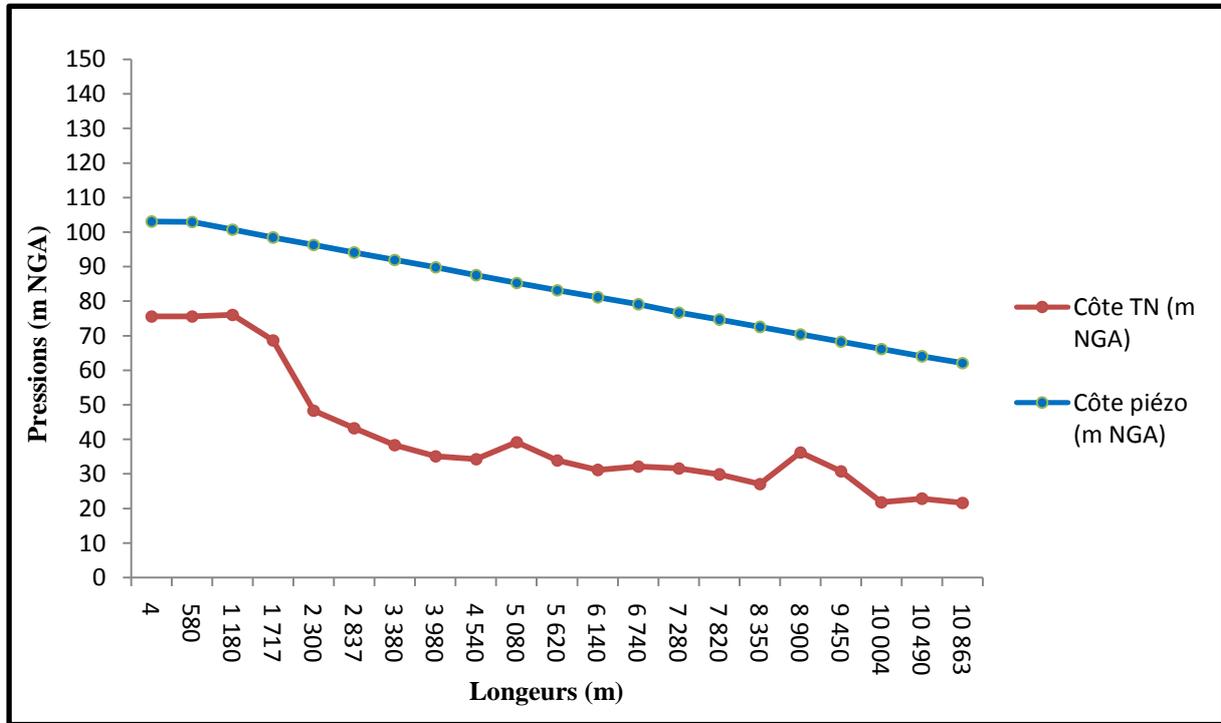


Figure N°45 : profil piézométrique du transfert – côte retenue barrage : 103 m NGA

#### IV.2.5. Reprise des calculs hydrauliques du transfert avec une côte retenue dans le barrage 138 m NGA

En fonction des données du levé topographique (côte du terrain naturel, longueurs des tronçons), le calcul des pertes de charges pour chaque tronçon a permis d'évaluer les côtes résiduelles. Ces calculs ont conduit à estimer les différentes pressions le long du transfert, d'arrêter les pressions nominales des canalisations et de dresser finalement le profil piézométrique du transfert.

Les différents calculs hydrauliques ainsi que le tracé du profil piézométrique sont mentionnés respectivement sur le tableau N°17 et la figure N°46.

Tableau N°17: Dimensionnement hydraulique du transfert projeté par l'APD – côte retenue : 138 m NGA.

BPAT $Q = 0.93 \text{ m}^3/\text{S}$ $V=1.84 \text{ m/S}$ $D_{\text{ext}} = 970 \text{ mm}$ $D_{\text{int}} = 800 \text{ mm}$ $n=0.5$												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression au sol (Bar)	PN calculé e (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	79,30	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	2,16	101,18	99,03	21,88	22,84	79,30	76,19	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,89	99,03	97,13	22,84	21,68	76,19	75,45	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,46	97,13	95,68	21,68	25,38	75,45	70,30	11,26	13,26	14,00

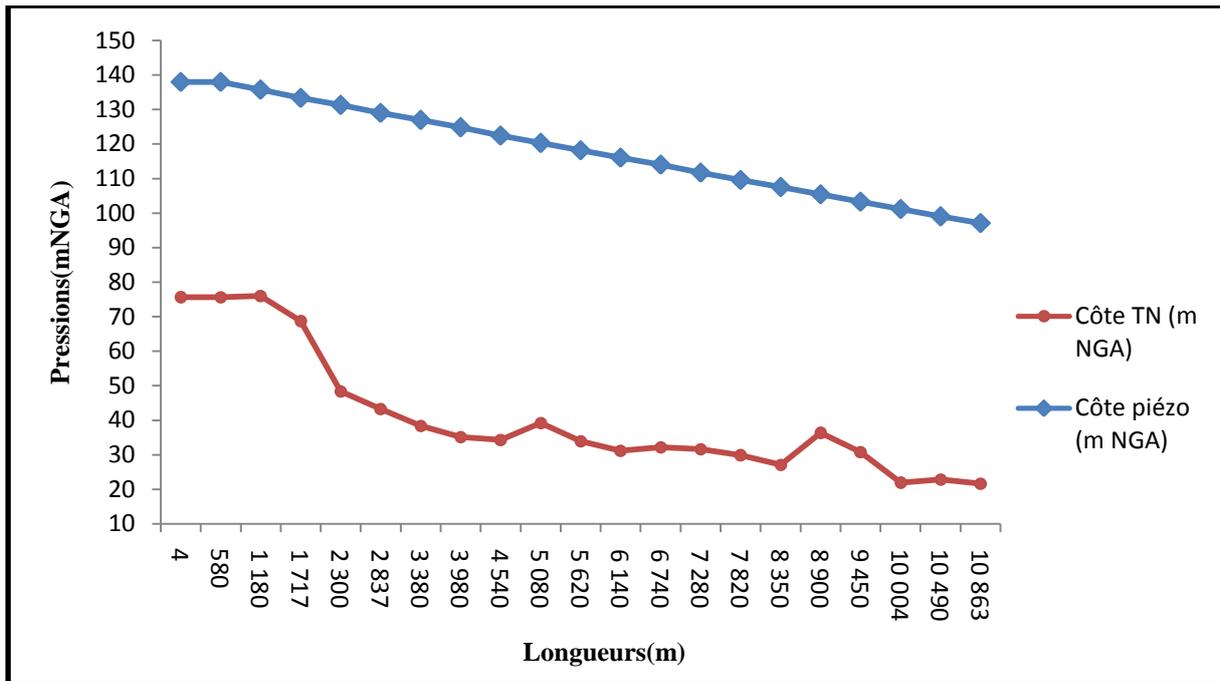


Figure N°46 : profil piézométrique du transfert – côte retenue barrage : 138 m NGA

A travers la reprise des calculs hydrauliques lors de l'élaboration de l'avant projet détaillé initial, nous constatons que le types de conduites retenue (conduite BPAT DN 800) n'est nullement en adéquation avec les pressions calculés. En effet, à partir du tronçon 4 les pressions dépassent la pression nominale PN 10 de la canalisation projetée lors de l'APD (pression fluctuant entre 12 et 14 bars). Deux solutions sont envisagées pour remédier à la situation relative au dépassement des pressions :

- Substitution du type de canalisation BPAT avec un autre matériau,
- Projection de réduction de pression pour limiter les pressions au niveau du profil piézométrique à 10 bars.

## V. VARIANTES DU TRANSFERT PROPOSEES

### V.1.Calculs hydrauliques

Dans cette partie du travail, il est proposé d'introduire par substitution de la conduite BPAT projetée plusieurs variantes de canalisations et d'étudier l'influence du type de canalisations sur les profils piézométriques du transfert.

Les canalisations faisant l'objet de l'étude des variantes sont : Acier, Fonte ductile, Béton et PRV. Les calculs élaborés tiennent compte également des plages de rugosité des canalisations :

- Acier :  $n=0,05 - 0,5$ ,
- BPAT :  $n=0,5$ ,
- Fonte :  $n=0,1 - 0,5$ ,
- PRV :  $n = 0,029$ ,
- Béton :  $n=0,1 - 0,25$ .

Les calculs hydrauliques correspondants à chaque variante sont illustrés sur les tableaux de 20 à 27 pour différentes plages de rugosité.

La figure N°47 donne le schéma du transfert.

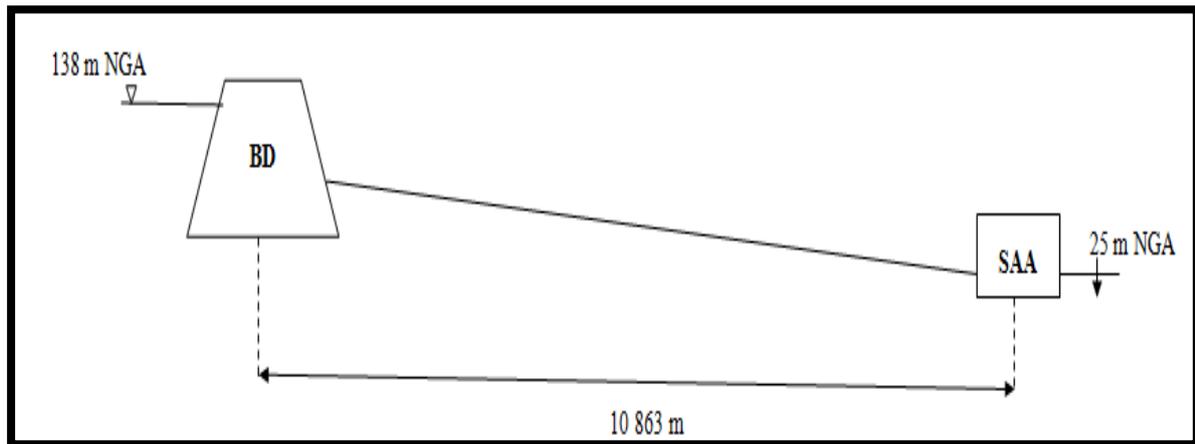


Figure N° 47: Schéma du transfert.

Tableau N°18 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en BPAT  $n=0,5$ .

BPAT : $n=0,5$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D_{ext} = 970$ mm $D_{int} = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression au sol (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	79,30	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	2,16	101,18	99,03	21,88	22,84	79,30	76,19	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,89	99,03	97,13	22,84	21,68	76,19	75,45	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,46	97,13	95,68	21,68	25,38	75,45	70,30	11,26	13,26	14,00

Tableau N°19: Dimensionnement hydraulique du transfert - une conduite en Acier  $n=0,05$ .

Acier : $n=0,05$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	Pression de référence (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,55	137,99	136,43	75,65	76,06	62,34	60,37	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,62	136,43	134,81	76,06	68,69	60,37	66,12	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,45	134,81	133,36	68,69	48,36	66,12	85,00	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,58	133,36	131,79	48,36	43,28	85,00	88,51	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,45	131,79	130,34	43,28	38,42	88,51	91,92	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,47	130,34	128,87	38,42	35,17	91,92	93,70	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,62	128,87	127,25	35,17	34,31	93,70	92,94	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,51	127,25	125,74	34,31	39,24	92,94	86,50	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,46	125,74	124,28	39,24	33,97	86,50	90,31	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,46	124,28	122,82	33,97	31,15	90,31	91,67	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,40	122,82	121,42	31,15	32,19	91,67	89,23	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,62	121,42	119,80	32,19	31,66	89,23	88,14	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,46	119,80	118,34	31,66	29,84	88,14	88,50	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,46	118,34	116,88	29,84	27,1	88,50	89,78	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,43	116,88	115,45	27,1	26,3	89,78	89,15	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,48	115,45	113,97	36,3	30,79	79,15	83,18	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,48	113,97	112,48	30,79	21,88	83,18	90,60	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,50	112,48	110,98	21,88	22,84	90,60	88,14	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,31	110,98	109,67	22,84	21,68	88,14	87,99	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,01	109,67	108,66	21,68	25,38	87,99	83,28	11,26	13,26	14,00

Tableau N°20 : Dimensionnement hydraulique du transfert - une conduite en Acier  $n=0,5$ .

Acier : $n=0,5$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	Pression de référence (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	79,30	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	2,16	101,18	99,03	21,88	22,84	79,30	76,19	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,89	99,03	97,13	22,84	21,68	76,19	75,45	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,46	97,13	95,68	21,68	25,38	75,45	70,30	11,26	13,26	14,00

Tableau N°21 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en Fonte ductile  $n=0,1$ .

Fonte Ductile : $n=0,1$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,67	137,99	136,32	75,65	76,06	62,34	60,26	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,74	136,32	134,57	76,06	68,69	60,26	65,88	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,56	134,57	133,02	68,69	48,36	65,88	84,66	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,69	133,02	131,32	48,36	43,28	84,66	88,04	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,56	131,32	129,76	43,28	38,42	88,04	91,34	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,58	129,76	128,19	38,42	35,17	91,34	93,02	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,74	128,19	126,44	35,17	34,31	93,02	92,13	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,63	126,44	124,82	34,31	39,24	92,13	85,58	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,57	124,82	123,25	39,24	33,97	85,58	89,28	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,57	123,25	121,68	33,97	31,15	89,28	90,53	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,51	121,68	120,17	31,15	32,19	90,53	87,98	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,74	120,17	118,43	32,19	31,66	87,98	86,77	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,57	118,43	116,86	31,66	29,84	86,77	87,02	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,57	116,86	115,29	29,84	27,1	87,02	88,19	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,54	115,29	113,75	27,1	26,3	88,19	87,45	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,60	113,75	112,16	36,3	30,79	77,45	81,37	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,60	112,16	110,56	30,79	21,88	81,37	88,68	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,61	110,56	108,95	21,88	22,84	88,68	86,11	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,41	108,95	107,54	22,84	21,68	86,11	85,86	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,09	107,54	106,46	21,68	25,38	85,86	81,08	8,22	10,22	12,00

Tableau N°22: Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en n Fonte ductile n=0,5.

Fonte Ductile : n=0,5      v = 1,84 m/s      Q = 0,93 m <sup>3</sup> /s      D = 800 mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	79,30	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	2,16	101,18	99,03	21,88	22,84	79,30	76,19	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,89	99,03	97,13	22,84	21,68	76,19	75,45	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,46	97,13	95,68	21,68	25,38	75,45	70,30	11,26	13,26	14,00

Tableau N°23 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en Béton  $n=0,1$ 

Béton : $n=0,1$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,67	137,99	136,32	75,65	76,06	62,34	60,26	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,74	136,32	134,57	76,06	68,69	60,26	65,88	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,56	134,57	133,02	68,69	48,36	65,88	84,66	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,69	133,02	131,32	48,36	43,28	84,66	88,04	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,56	131,32	129,76	43,28	38,42	88,04	91,34	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,58	129,76	128,19	38,42	35,17	91,34	93,02	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,74	128,19	126,44	35,17	34,31	93,02	92,13	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,63	126,44	124,82	34,31	39,24	92,13	85,58	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,57	124,82	123,25	39,24	33,97	85,58	89,28	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,57	123,25	121,68	33,97	31,15	89,28	90,53	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,51	121,68	120,17	31,15	32,19	90,53	87,98	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,74	120,17	118,43	32,19	31,66	87,98	86,77	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,57	118,43	116,86	31,66	29,84	86,77	87,02	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,57	116,86	115,29	29,84	27,1	87,02	88,19	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,54	115,29	113,75	27,1	26,3	88,19	87,45	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,60	113,75	112,16	36,3	30,79	77,45	81,37	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,60	112,16	110,56	30,79	21,88	81,37	88,68	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,61	110,56	108,95	21,88	22,84	88,68	86,11	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,41	108,95	107,54	22,84	21,68	86,11	85,86	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,09	107,54	106,46	21,68	25,38	85,86	81,08	8,22	10,22	12,00

Tableau N°24 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en béton  $n=0,25$

Béton : $n=0,25$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° de tronçon	Longueurs partielles (m)	Longueurs cumulées	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,95	137,99	136,03	75,65	76,06	62,34	59,97	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	2,04	136,03	134,00	76,06	68,69	59,97	65,31	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,82	134,00	132,18	68,69	48,36	65,31	83,82	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,98	132,18	130,20	48,36	43,28	83,82	86,92	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,82	130,20	128,38	43,28	38,42	86,92	89,96	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,84	128,38	126,53	38,42	35,17	89,96	91,36	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	2,04	126,53	124,50	35,17	34,31	91,36	90,19	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,90	124,50	122,60	34,31	39,24	90,19	83,36	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,83	122,60	120,76	39,24	33,97	83,36	86,79	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,83	120,76	118,93	33,97	31,15	86,79	87,78	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,76	118,93	117,17	31,15	32,19	87,78	84,98	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	2,04	117,17	115,13	32,19	31,66	84,98	83,47	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,83	115,13	113,30	31,66	29,84	83,47	83,46	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,83	113,30	111,47	29,84	27,1	83,46	84,37	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,80	111,47	109,67	27,1	26,3	84,37	83,37	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,87	109,67	107,80	36,3	30,79	73,37	77,01	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,87	107,80	105,94	30,79	21,88	77,01	84,06	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,88	105,94	104,06	21,88	22,84	84,06	81,22	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,65	104,06	102,41	22,84	21,68	81,22	80,73	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	1,27	102,41	101,14	21,68	25,38	80,73	75,76	11,26	13,26	14,00

Tableau N°25 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Conduite en PRV  $n=0,029$ .

PRV : $n=0,029$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,49	137,99	136,50	75,65	76,06	62,34	60,44	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,55	136,50	134,95	76,06	68,69	60,44	66,26	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,39	134,95	133,57	68,69	48,36	66,26	85,21	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,51	133,57	132,06	48,36	43,28	85,21	88,78	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,39	132,06	130,68	43,28	38,42	88,78	92,26	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,40	130,68	129,27	38,42	35,17	92,26	94,10	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,55	129,27	127,73	35,17	34,31	94,10	93,42	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,45	127,73	126,28	34,31	39,24	93,42	87,04	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,39	126,28	124,89	39,24	33,97	87,04	90,92	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,39	124,89	123,49	33,97	31,15	90,92	92,34	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,34	123,49	122,15	31,15	32,19	92,34	89,96	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,55	122,15	120,60	32,19	31,66	89,96	88,94	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,39	120,60	119,21	31,66	29,84	88,94	89,37	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,39	119,21	117,81	29,84	27,1	89,37	90,71	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,37	117,81	116,44	27,1	26,3	90,71	90,14	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,42	116,44	115,02	36,3	30,79	80,14	84,23	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,42	115,02	113,61	30,79	21,88	84,23	91,73	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,43	113,61	112,17	21,88	22,84	91,73	89,33	11,51	13,51	14,00
20	485,93	10489,7	1,25	112,17	110,92	22,84	21,68	89,33	89,24	11,63	13,63	14,00
21	373,72	10863,42	0,96	110,92	109,96	21,68	25,38	89,24	84,58	11,26	13,26	14,00

## **V.2. Profils piézométriques des variantes de transfert**

En fonction des calculs hydrauliques élaborés pour les différentes variantes, il a été tracé sur le même graphique les profils piézométrique des transferts correspondant à chaque type de canalisation. Les profils piézométriques sont représentés sur la figure N°50.

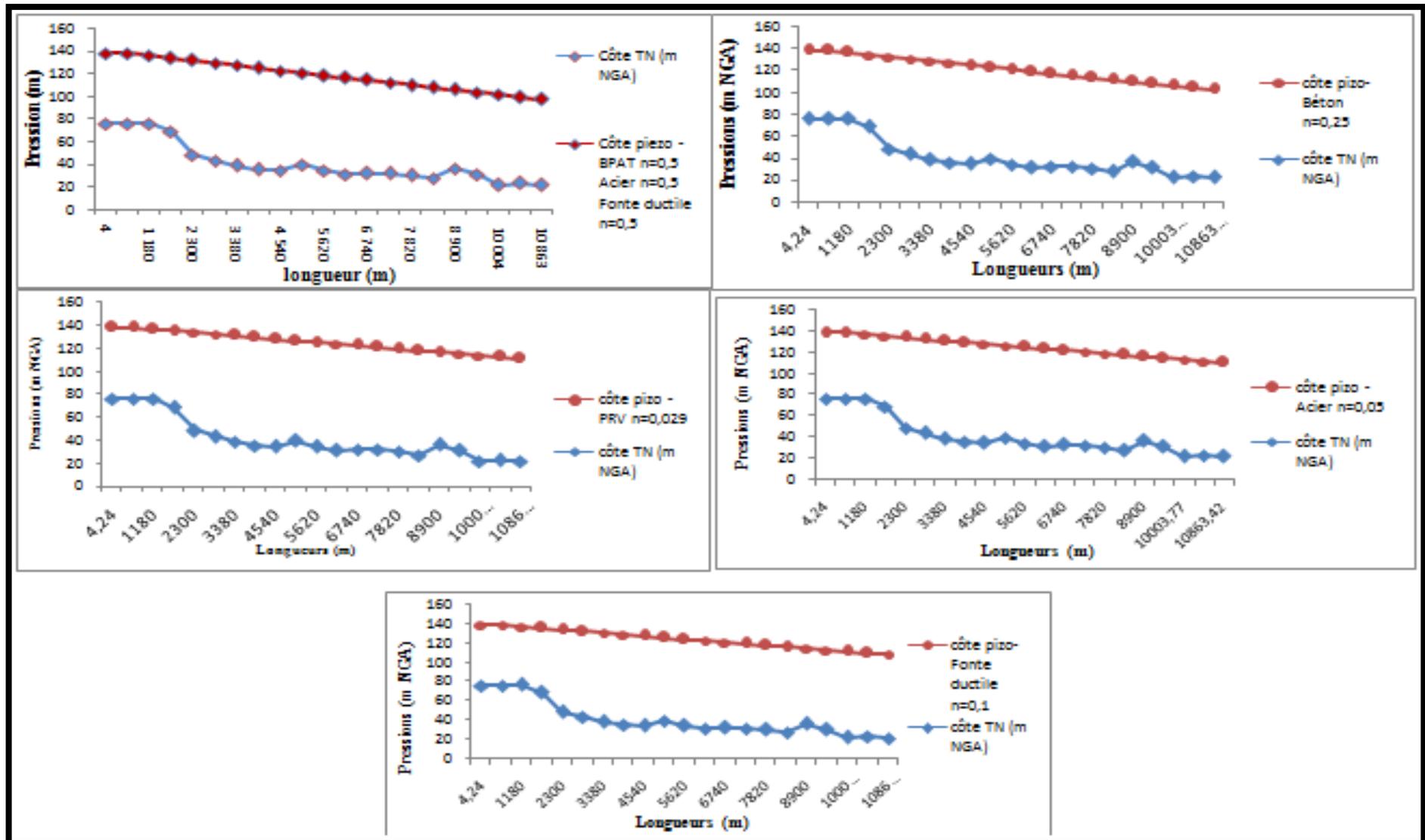


Figure N°48: profils piézométriques pour les différents types de canalisations de transfert.

### V.3. Analyse des profils piézométriques

En guise d'analyse comparative, il est présenté sur le tableau N°26 pour différentes variantes du transfert les pressions nominales conjuguées aux longueurs des tronçons.

Tableau N° 26 : Pressions nominales conjuguées aux longueurs des tronçons du transfert.

Types	Rugosité (mm)	Pression min (bars)	Pression max (bars)	Pression moyenne (bars)	PN arrêtée (bars)	Longueurs de tronçon (m)
<b>Fonte ductile</b>	0,1	6,19	11,63	10,21	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
	0,5	6,19	11,63	10,02	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
<b>Béton</b>	0,1	6,19	11,63	10,21	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
	0,25	6,19	13,80	10,15	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
<b>PRV</b>	0.029	6,19	11,63	10,02	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
<b>BPAT</b>	0.5	6,19	11,63	10,02	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
<b>Acier</b>	0,05	6,19	11,63	10,02	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81
	0,5	6,19	11,63	10,02	10	1 180,00
					12	2 216,61
					14	7 466,81

## VI. CONTRAINTE DE RACCORDEMENT HYDRAULIQUE AU NIVEAU DE LA STATION SAA

Le transfert à partir du barrage Douera pour l'alimentation de la zone ouest d'Alger doit être raccordé au niveau de la station de traitement SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger. Ce raccordement selon le cahier de prescription technique, doit s'opérer au niveau des

bassins de coagulation - floculation avec une pression ne dépassant pas 1 bars pour éviter la perturbation du processus de traitement à ce niveau.

## **VII. SOLUTIONS DE RACCORDEMENT**

### **VII.1. Descriptif**

Afin d'assurer une pression d'entrée à la station SAA,  $P \leq 1$  bars, il est proposé de réguler la pression du transfert pour cet objectif. Deux solutions ont été envisagées:

- Réduction de pression amont (sortie barrage),
- Réduction de pression aval (entrée SAA).

### **VII.2. Calculs hydrauliques**

Pour différents types de canalisations proposées en variante et en tenant compte des plages de rugosité des canalisations, les calculs hydrauliques du transfert ont été repris pour les deux cas d'implantation des réducteurs de pression.

#### **VII.2.1. Réduction de pression amont**

La prise en charge d'une pression d'entrée à la station SAA  $P = 0.7$  bars et en évaluant les pertes de charge depuis la station SAA jusqu'à l'amont du transfert, on peut fixer l'implantation du réducteur de pression d'entrée et de sortie.

Pour les différentes variantes étudiées et pour ce premier cas d'implantation d'un réducteur de pression à l'amont du transfert, les calculs hydrauliques et les profils piézométriques y afférant sont présentés respectivement sur les tableaux de N° 27 à 34 et sur les figures de 50 à 57.

Dans l'ensemble des profils piézométriques les désignations ci-dessous sont adoptées:

BD: Barrage Douera,

RP: Réducteur de pression,

PE: Pression d'entrée à la station de traitement SAA,

PS: Pression de sortie réducteur.

La figure N°49 donne le schéma du transfert avec la variante réducteur de pression amont.

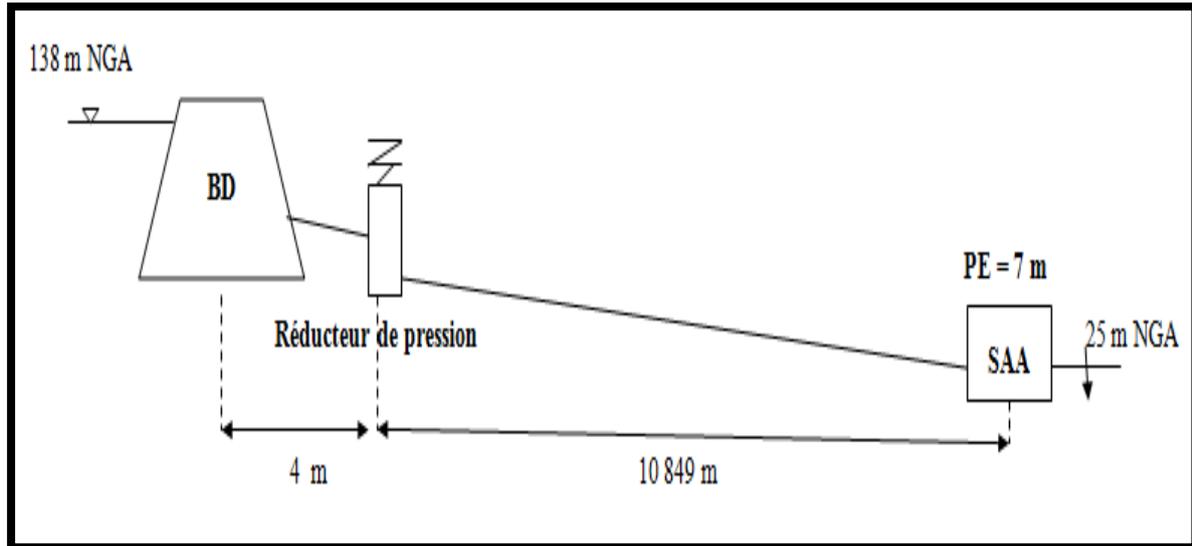


Figure N° 49 : Schéma du transfert – Réducteur amont.

Tableau N°27: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en BPAT  $n=0,5$ .

BPAT : $n=0,5$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D_{ext} = 970$ mm $D_{int} = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	PE=62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	118,66	123,12	75,65	76,06	Réducteur de pression		4,26	6,26	10,00
								PS= 43,01	47,06			
3	600	1180	2,34	123,12	113,42	76,06	68,69	47,06	44,73	5,00	7,00	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	113,42	91,00	68,69	48,36	44,73	42,64	7,03	9,03	10,00
5	583,44	2300	2,27	91,00	83,64	48,36	43,28	42,64	40,36	7,54	9,54	10,00
6	536,61	2836,61	2,09	83,64	76,69	43,28	38,42	40,36	38,27	8,02	10,02	12,00
7	543,39	3380	2,12	76,69	71,33	38,42	35,17	38,27	36,16	8,35	10,35	12,00
8	600	3980	2,34	71,33	68,13	35,17	34,31	36,16	33,82	8,43	10,43	12,00
9	560	4540	2,18	68,13	70,88	34,31	39,24	33,82	31,64	7,94	9,94	10,00
10	540	5080	2,10	70,88	63,50	39,24	33,97	31,64	29,53	8,47	10,47	12,00
11	540	5620	2,10	63,50	58,58	33,97	31,15	29,53	27,43	8,75	10,75	12,00
12	520	6140	2,03	58,58	57,59	31,15	32,19	27,43	25,40	8,65	10,65	12,00
13	600	6740	2,34	57,59	54,72	32,19	31,66	25,40	23,06	8,70	10,70	12,00
14	540	7280	2,10	54,72	50,80	31,66	29,84	23,06	20,96	8,88	10,88	12,00
15	540	7820	2,10	50,80	45,96	29,84	27,1	20,96	18,86	9,16	11,16	12,00
16	530,3	8350,3	2,07	45,96	43,09	27,1	26,3	18,86	16,79	9,24	11,24	12,00
17	549,7	8900	2,14	53,09	45,44	36,3	30,79	16,79	14,65	8,79	10,79	12,00
18	549,7	9449,7	2,14	45,44	34,39	30,79	21,88	14,65	12,51	9,68	11,68	12,00
19	554,07	10003,77	2,16	34,39	33,19	21,88	22,84	12,51	10,35	9,58	11,58	12,00
20	485,93	10489,7	1,89	33,19	30,14	22,84	21,68	10,35	8,46	9,70	11,70	12,00
21	373,72	10863,42	1,46	30,14	32,38	21,68	25,38	8,46	7,00	9,33	11,33	12,00

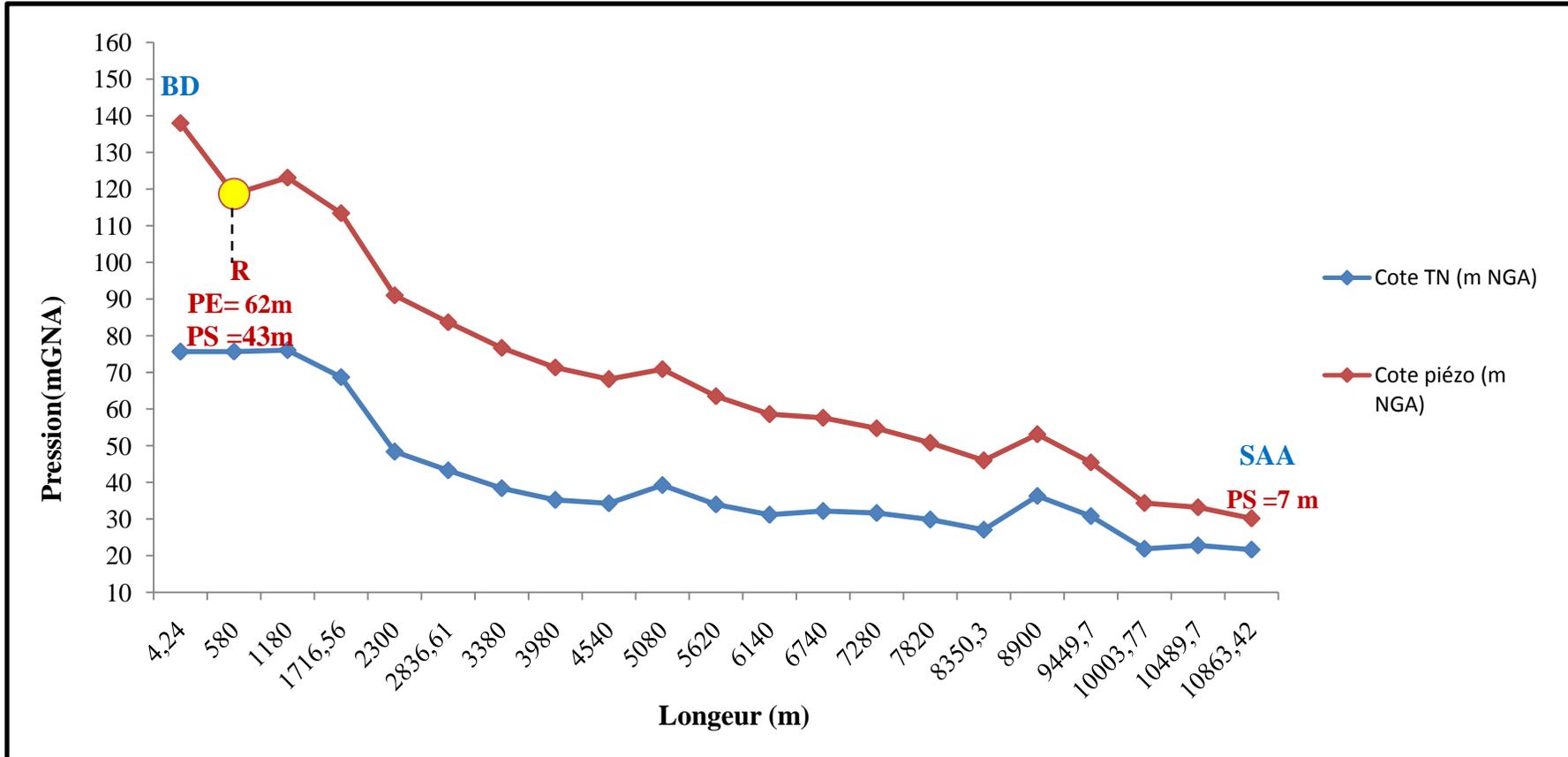


Figure N°50 : Profil piézométrique : Conduite en BPAT  $n=0.5$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N°28: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Fonte ductile  $n=0,1$ .

Fonte ductile: $n = 0,1$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	PE =62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,67	114,18	112,92	75,65	76,06	<b>Réducteur de pression</b>		3,81	5,81	10,00
								PS =38,53	36,86			
3	600	1180	1,74	112,92	103,81	76,06	68,69	36,86	35,12	4,55	6,55	10,00
4	536,56	1716,56	1,56	103,81	81,92	68,69	48,36	35,12	33,56	6,58	8,58	10,00
5	583,44	2300	1,69	81,92	75,15	48,36	43,28	33,56	31,87	7,09	9,09	10,00
6	536,61	2836,61	1,56	75,15	68,73	43,28	38,42	31,87	30,31	7,58	9,58	10,00
7	543,39	3380	1,58	68,73	63,90	38,42	35,17	30,31	28,73	7,90	9,90	10,00
8	600	3980	1,74	63,90	61,30	35,17	34,31	28,73	26,99	7,99	9,99	10,00
9	560	4540	1,63	61,30	64,60	34,31	39,24	26,99	25,36	7,49	9,49	10,00
10	540	5080	1,57	64,60	57,76	39,24	33,97	25,36	23,79	8,02	10,02	12,00
11	540	5620	1,57	57,76	53,38	33,97	31,15	23,79	22,23	8,30	10,30	12,00
12	520	6140	1,51	53,38	52,91	31,15	32,19	22,23	20,72	8,20	10,20	12,00
13	600	6740	1,74	52,91	50,63	32,19	31,66	20,72	18,97	8,25	10,25	12,00
14	540	7280	1,57	50,63	47,25	31,66	29,84	18,97	17,41	8,43	10,43	12,00
15	540	7820	1,57	47,25	42,94	29,84	27,1	17,41	15,84	8,71	10,71	12,00
16	530,3	8350,3	1,54	42,94	40,60	27,1	26,3	15,84	14,30	8,79	10,79	12,00
17	549,7	8900	1,60	40,60	43,49	36,3	30,79	14,30	12,70	8,34	10,34	12,00
18	549,7	9449,7	1,60	43,49	32,99	30,79	21,88	12,70	11,11	9,23	11,23	12,00
19	554,07	10003,77	1,61	32,99	32,34	21,88	22,84	11,11	9,50	9,13	11,13	12,00
20	485,93	10489,7	1,41	32,34	29,77	22,84	21,68	9,50	8,09	9,25	11,25	12,00
21	373,72	10863,42	1,09	29,77	32,38	21,68	25,38	8,09	7,00	8,88	10,88	12,00

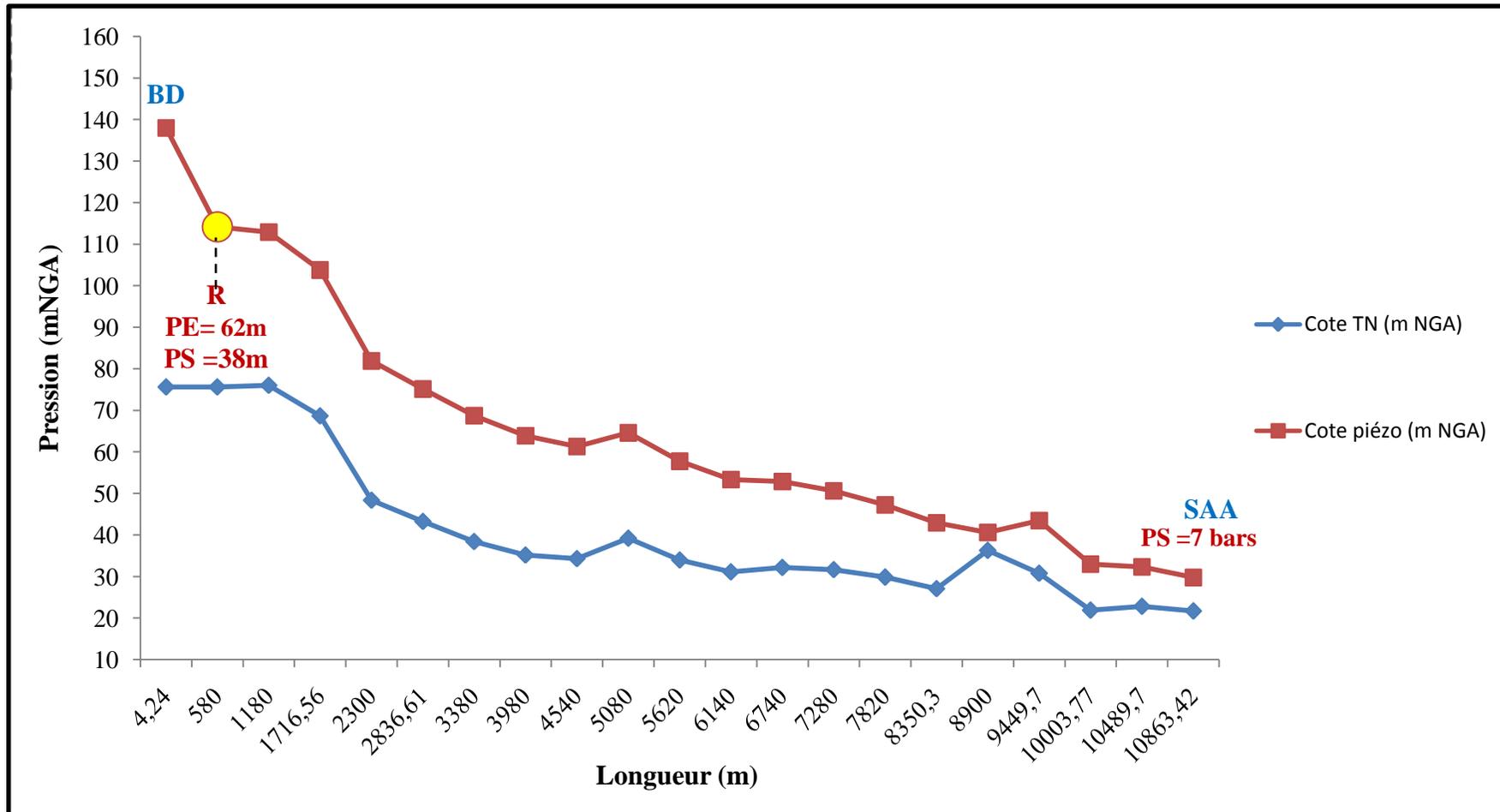


Figure N°51: Profil piézométrique : Conduite en Fonte ductile  $n = 0,1$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N°29 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Fonte ductile  $n=0,5$ .

Fonte ductile : $n=0,5$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> //s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	PE=62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	118,66	123,12	75,65	76,06	Réducteur de pression		4,26	6,26	10,00
								PS= 43,01	47,06			
3	600	1180	2,34	123,12	113,42	76,06	68,69	47,06	44,73	5,00	7,00	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	113,42	91,00	68,69	48,36	44,73	42,64	7,03	9,03	10,00
5	583,44	2300	2,27	91,00	83,64	48,36	43,28	42,64	40,36	7,54	9,54	10,00
6	536,61	2836,61	2,09	83,64	76,69	43,28	38,42	40,36	38,27	8,02	10,02	12,00
7	543,39	3380	2,12	76,69	71,33	38,42	35,17	38,27	36,16	8,35	10,35	12,00
8	600	3980	2,34	71,33	68,13	35,17	34,31	36,16	33,82	8,43	10,43	12,00
9	560	4540	2,18	68,13	70,88	34,31	39,24	33,82	31,64	7,94	9,94	10,00
10	540	5080	2,10	70,88	63,50	39,24	33,97	31,64	29,53	8,47	10,47	12,00
11	540	5620	2,10	63,50	58,58	33,97	31,15	29,53	27,43	8,75	10,75	12,00
12	520	6140	2,03	58,58	57,59	31,15	32,19	27,43	25,40	8,65	10,65	12,00
13	600	6740	2,34	57,59	54,72	32,19	31,66	25,40	23,06	8,70	10,70	12,00
14	540	7280	2,10	54,72	50,80	31,66	29,84	23,06	20,96	8,88	10,88	12,00
15	540	7820	2,10	50,80	45,96	29,84	27,1	20,96	18,86	9,16	11,16	12,00
16	530,3	8350,3	2,07	45,96	43,09	27,1	26,3	18,86	16,79	9,24	11,24	12,00
17	549,7	8900	2,14	53,09	45,44	36,3	30,79	16,79	14,65	8,79	10,79	12,00
18	549,7	9449,7	2,14	45,44	34,39	30,79	21,88	14,65	12,51	9,68	11,68	12,00
19	554,07	10003,77	2,16	34,39	33,19	21,88	22,84	12,51	10,35	9,58	11,58	12,00
20	485,93	10489,7	1,89	33,19	30,14	22,84	21,68	10,35	8,46	9,70	11,70	12,00
21	373,72	10863,42	1,46	30,14	32,38	21,68	25,38	8,46	7,00	9,33	11,33	12,00

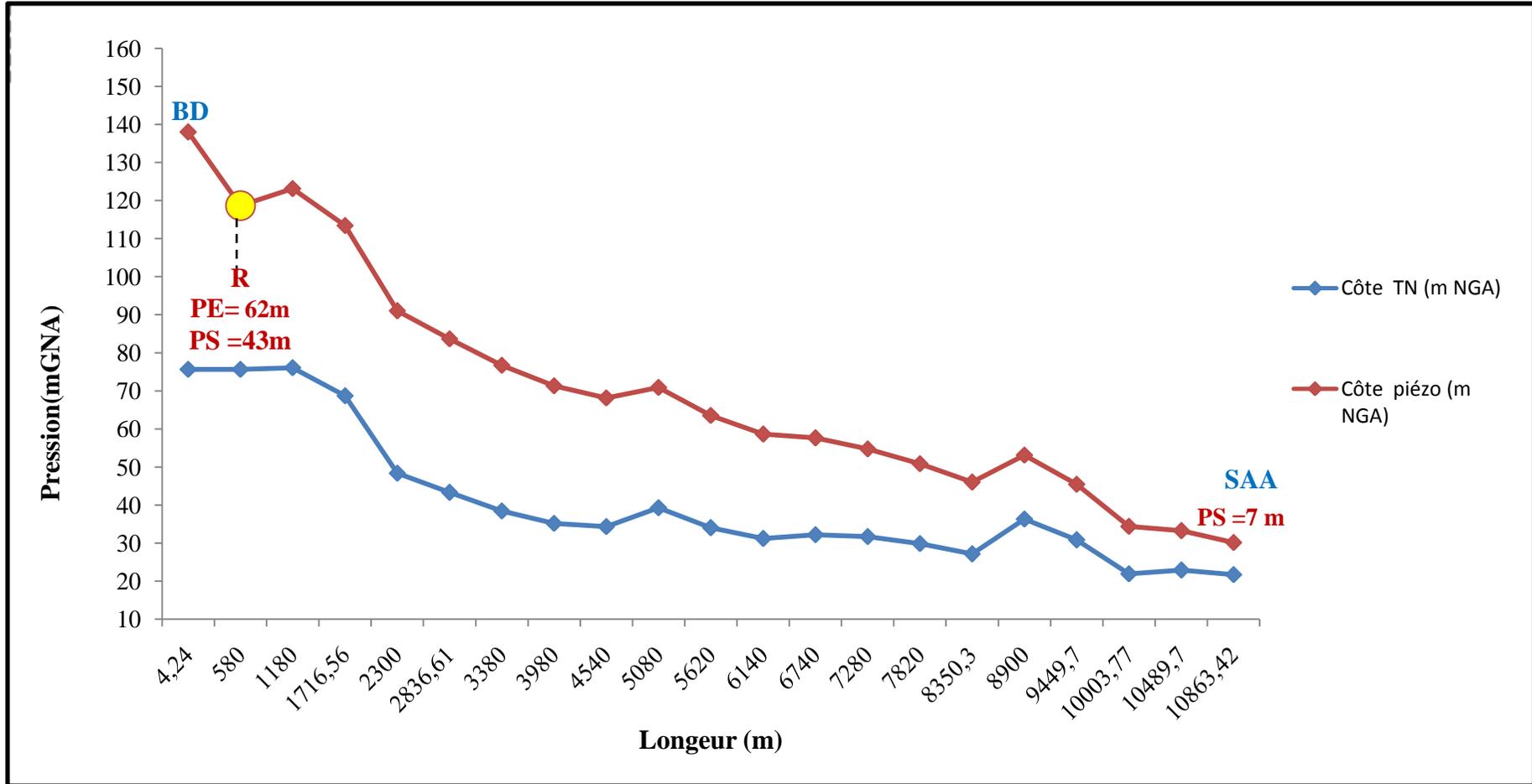


Figure N°52 : Profil piézométrique : Conduite en Fonte ductile  $n=0,5$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N° 30: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Acier n=0,05.

Acier : n= 0,05 mm v=1,84 m/s Q=0,93 m <sup>3</sup> /s D = 800 mm												
N° de tronçon	Longueurs partielles (m)	Longueurs cumulées	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN référence (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	PE=62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,55	111,98	110,83	75,65	76,06	Réducteur de pression		3,59	5,59	10,00
								PS=36,33	34,77			
3	600	1180	1,62	110,83	101,84	76,06	68,69	34,77	33,15	4,33	6,33	10,00
4	536,56	1716,56	1,45	101,84	80,06	68,69	48,36	33,15	31,70	6,36	8,36	10,00
5	583,44	2300	1,58	80,06	73,41	48,36	43,28	31,70	30,13	6,87	8,87	10,00
6	536,61	2836,61	1,45	73,41	67,10	43,28	38,42	30,13	28,68	7,36	9,36	10,00
7	543,39	3380	1,47	67,10	62,38	38,42	35,17	28,68	27,21	7,68	9,68	10,00
8	600	3980	1,62	62,38	59,90	35,17	34,31	27,21	25,59	7,77	9,77	10,00
9	560	4540	1,51	59,90	63,32	34,31	39,24	25,59	24,08	7,27	9,27	10,00
10	540	5080	1,46	63,32	56,59	39,24	33,97	24,08	22,62	7,80	9,80	10,00
11	540	5620	1,46	56,59	52,31	33,97	31,15	22,62	21,16	8,08	10,08	12,00
12	520	6140	1,40	52,31	51,95	31,15	32,19	21,16	19,76	7,98	9,98	12,00
13	600	6740	1,62	51,95	49,80	32,19	31,66	19,76	18,14	8,03	10,03	12,00
14	540	7280	1,46	49,80	46,52	31,66	29,84	18,14	16,68	8,21	10,21	12,00
15	540	7820	1,46	46,52	42,32	29,84	27,1	16,68	15,22	8,49	10,49	12,00
16	530,3	8350,3	1,43	42,32	40,09	27,1	26,3	15,22	13,79	8,57	10,57	12,00
17	549,7	8900	1,48	50,09	43,09	36,3	30,79	13,79	12,30	8,12	10,12	12,00
18	549,7	9449,7	1,48	43,09	32,70	30,79	21,88	12,30	10,82	9,01	11,01	12,00
19	554,07	10003,77	1,50	32,70	32,16	21,88	22,84	10,82	9,32	8,91	10,91	12,00
20	485,93	10489,7	1,31	32,16	29,69	22,84	21,68	9,32	8,01	9,03	11,03	12,00
21	373,72	10863,42	1,01	29,69	32,38	21,68	25,38	8,01	7,00	8,66	10,66	12,00

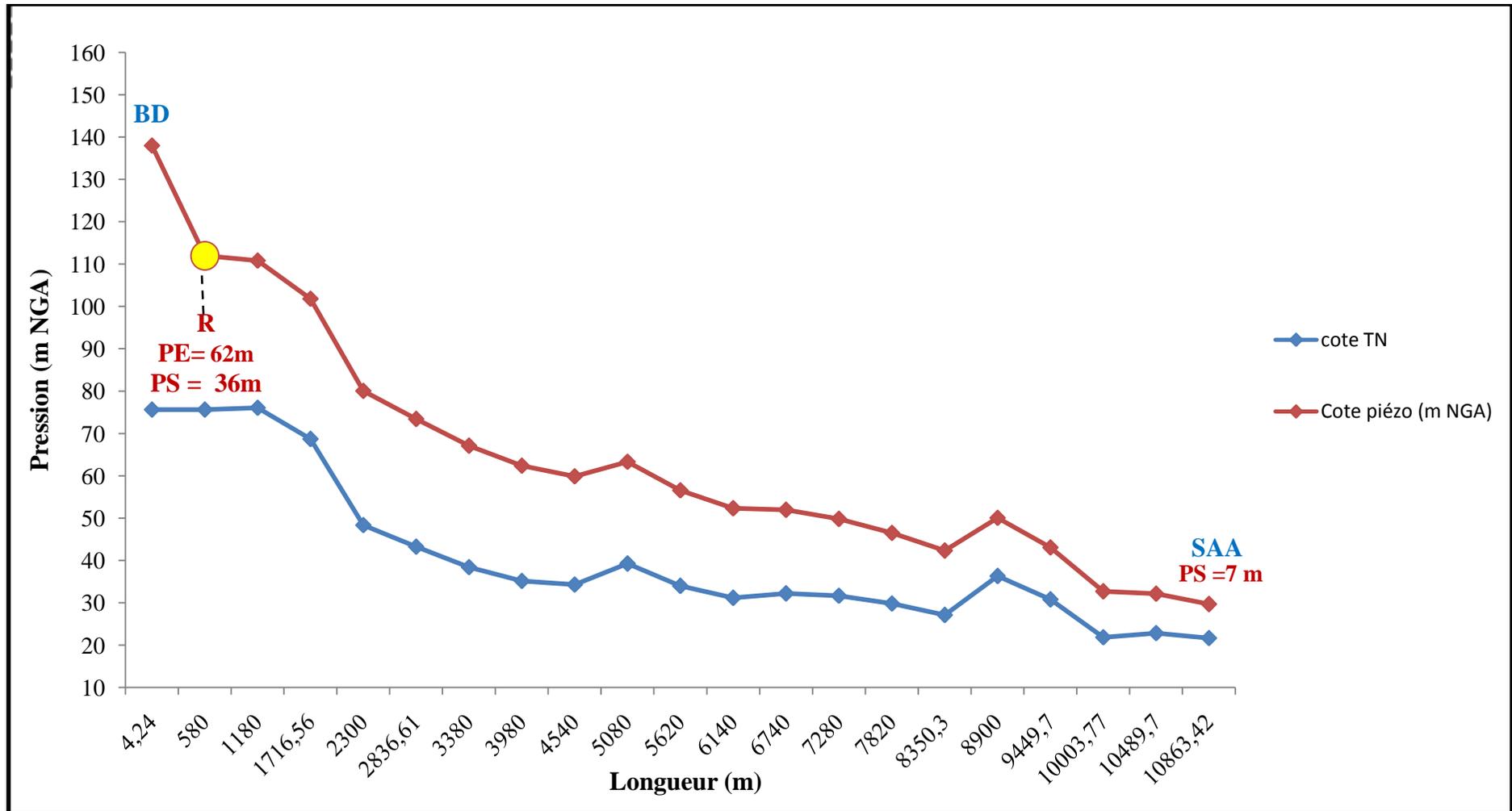


Figure N°53 : Profil piézométrique : Conduite en Acier  $n=0,05$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N°31 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en acier n=0,5.

Acier : n= 0,5 mm v=1,84 m/s Q=0,93 m <sup>3</sup> /s D = 800 mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN référence (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	PE=62,33	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	2,24	118,66	123,12	75,65	76,06	Réducteur de pression		4,26	6,26	10,00
								PS= 43,01	47,06			
3	600	1180	2,34	123,12	113,42	76,06	68,69	47,06	44,73	5,00	7,00	10,00
4	536,56	1716,56	2,09	113,42	91,00	68,69	48,36	44,73	42,64	7,03	9,03	10,00
5	583,44	2300	2,27	91,00	83,64	48,36	43,28	42,64	40,36	7,54	9,54	10,00
6	536,61	2836,61	2,09	83,64	76,69	43,28	38,42	40,36	38,27	8,02	10,02	12,00
7	543,39	3380	2,12	76,69	71,33	38,42	35,17	38,27	36,16	8,35	10,35	12,00
8	600	3980	2,34	71,33	68,13	35,17	34,31	36,16	33,82	8,43	10,43	12,00
9	560	4540	2,18	68,13	70,88	34,31	39,24	33,82	31,64	7,94	9,94	10,00
10	540	5080	2,10	70,88	63,50	39,24	33,97	31,64	29,53	8,47	10,47	12,00
11	540	5620	2,10	63,50	58,58	33,97	31,15	29,53	27,43	8,75	10,75	12,00
12	520	6140	2,03	58,58	57,59	31,15	32,19	27,43	25,40	8,65	10,65	12,00
13	600	6740	2,34	57,59	54,72	32,19	31,66	25,40	23,06	8,70	10,70	12,00
14	540	7280	2,10	54,72	50,80	31,66	29,84	23,06	20,96	8,88	10,88	12,00
15	540	7820	2,10	50,80	45,96	29,84	27,1	20,96	18,86	9,16	11,16	12,00
16	530,3	8350,3	2,07	45,96	43,09	27,1	26,3	18,86	16,79	9,24	11,24	12,00
17	549,7	8900	2,14	53,09	45,44	36,3	30,79	16,79	14,65	8,79	10,79	12,00
18	549,7	9449,7	2,14	45,44	34,39	30,79	21,88	14,65	12,51	9,68	11,68	12,00
19	554,07	10003,77	2,16	34,39	33,19	21,88	22,84	12,51	10,35	9,58	11,58	12,00
20	485,93	10489,7	1,89	33,19	30,14	22,84	21,68	10,35	8,46	9,70	11,70	12,00
21	373,72	10863,42	1,46	30,14	32,38	21,68	25,38	8,46	7,00	9,33	11,33	12,00

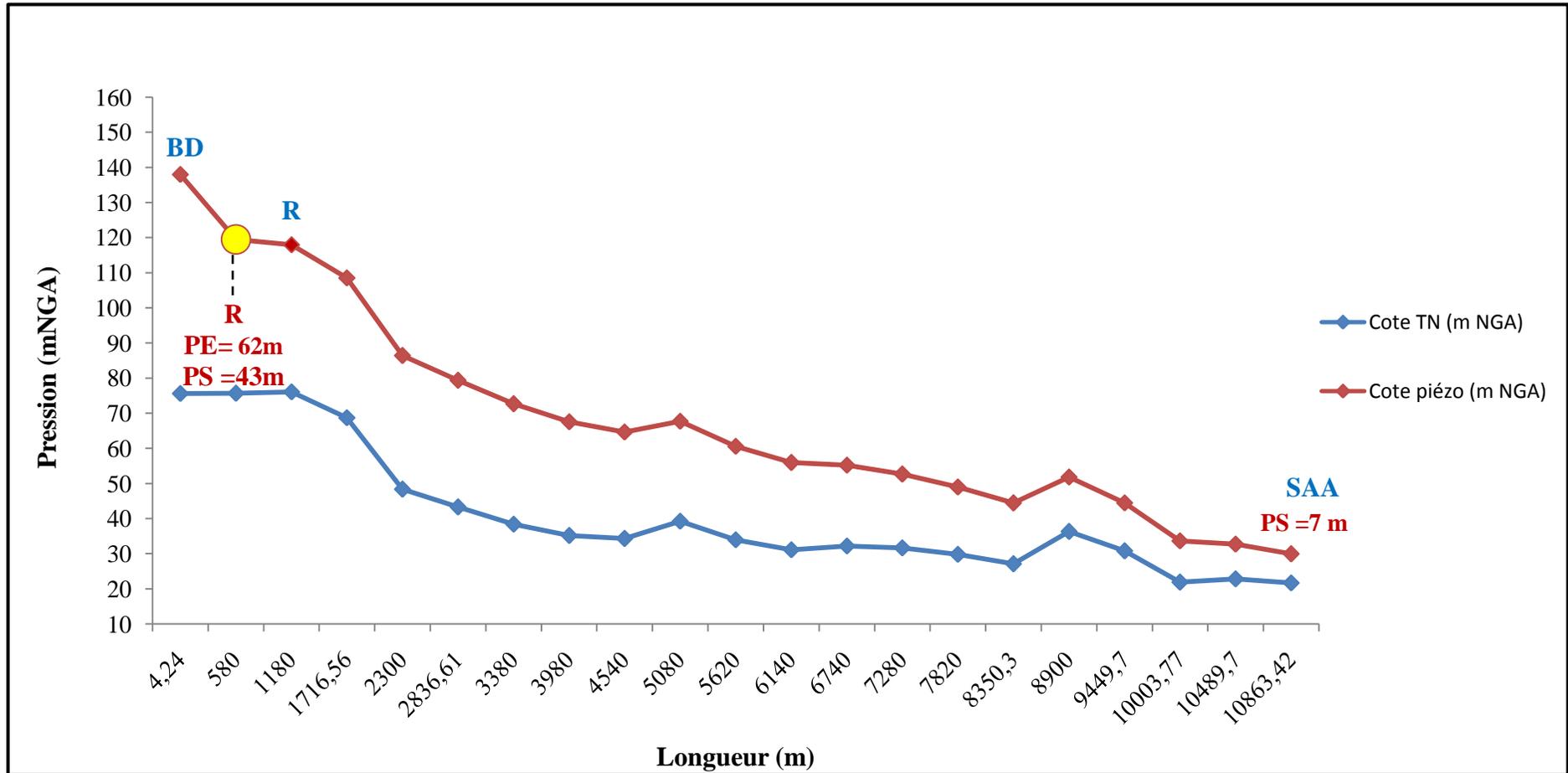


Figure N°54: Profil piézométrique : Conduite en Acier  $n=0,5$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N°32 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Béton  $n=0,1$ .

Béton : $n = 0,1$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	PE=62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,67	114,18	112,92	75,65	76,06	Réducteur de pression		3,81	5,81	10,00
								PS= 38,53	36,86			
3	600	1180	1,74	112,92	103,81	76,06	68,69	36,86	35,12	4,55	6,55	10,00
4	536,56	1716,56	1,56	103,81	81,92	68,69	48,36	35,12	33,56	6,58	8,58	10,00
5	583,44	2300	1,69	81,92	75,15	48,36	43,28	33,56	31,87	7,09	9,09	10,00
6	536,61	2836,61	1,56	75,15	68,73	43,28	38,42	31,87	30,31	7,58	9,58	10,00
7	543,39	3380	1,58	68,73	63,90	38,42	35,17	30,31	28,73	7,90	9,90	10,00
8	600	3980	1,74	63,90	61,30	35,17	34,31	28,73	26,99	7,99	9,99	10,00
9	560	4540	1,63	61,30	64,60	34,31	39,24	26,99	25,36	7,49	9,49	10,00
10	540	5080	1,57	64,60	57,76	39,24	33,97	25,36	23,79	8,02	10,02	12,00
11	540	5620	1,57	57,76	53,38	33,97	31,15	23,79	22,23	8,30	10,30	12,00
12	520	6140	1,51	53,38	52,91	31,15	32,19	22,23	20,72	8,20	10,20	12,00
13	600	6740	1,74	52,91	50,63	32,19	31,66	20,72	18,97	8,25	10,25	12,00
14	540	7280	1,57	50,63	47,25	31,66	29,84	18,97	17,41	8,43	10,43	12,00
15	540	7820	1,57	47,25	42,94	29,84	27,1	17,41	15,84	8,71	10,71	12,00
16	530,3	8350,3	1,54	42,94	40,60	27,1	26,3	15,84	14,30	8,79	10,79	12,00
17	549,7	8900	1,60	40,60	43,49	36,3	30,79	14,30	12,70	8,34	10,34	12,00
18	549,7	9449,7	1,60	43,49	32,99	30,79	21,88	12,70	11,11	9,23	11,23	12,00
19	554,07	10003,77	1,61	32,99	32,34	21,88	22,84	11,11	9,50	9,13	11,13	12,00
20	485,93	10489,7	1,41	32,34	29,77	22,84	21,68	9,50	8,09	9,25	11,25	12,00
21	373,72	10863,42	1,09	29,77	32,38	21,68	25,38	8,09	7,00	8,88	10,88	12,00

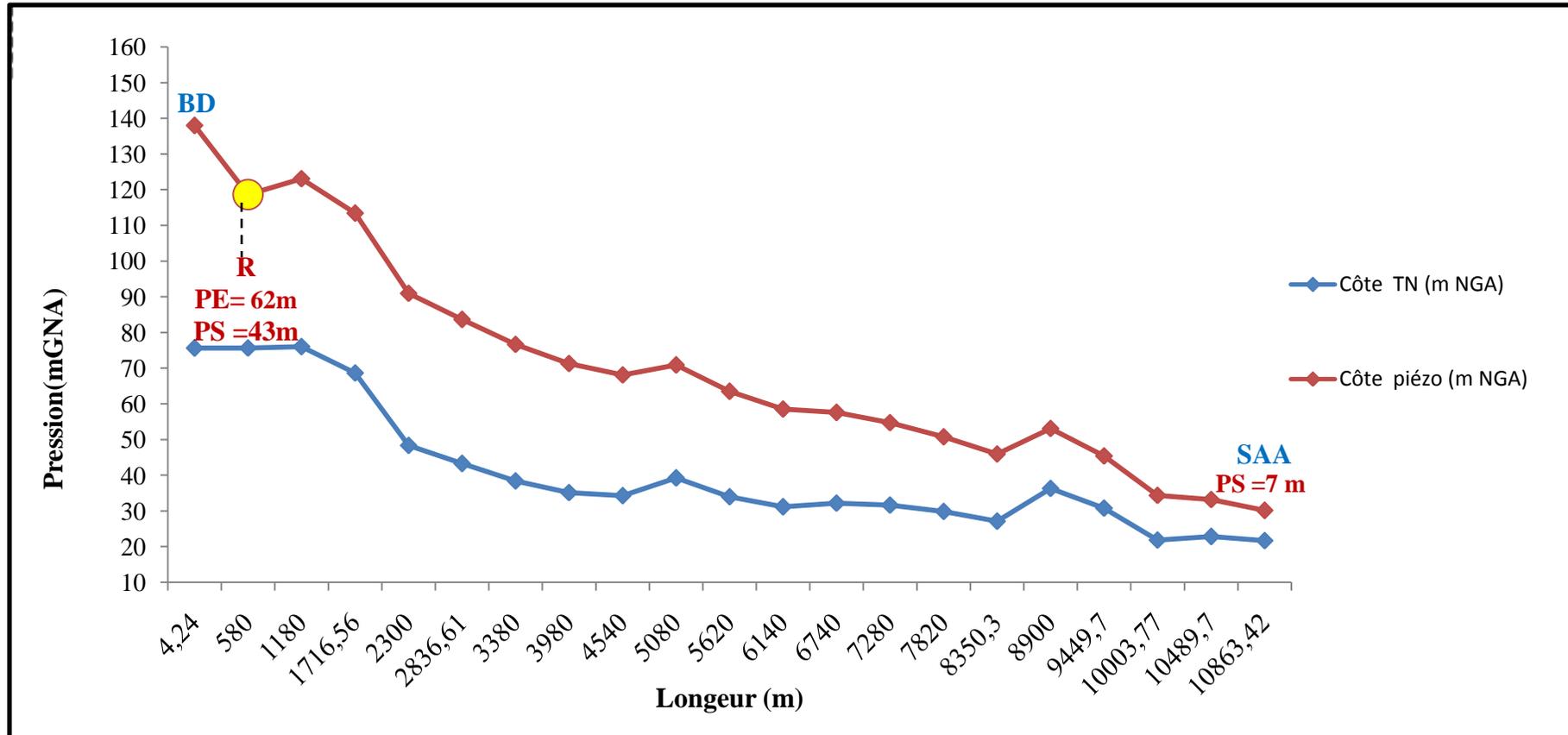


Figure N°55 : Profil piézométrique : Conduite en Béton  $n=0,1$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N°33: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en Béton  $n=0,25$ 

Béton : $n=0,25$ $v=1,84$ m/s $Q=0,93$ m <sup>3</sup> /s. $D=800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueurs cumulées	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	PE=62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,95	119,50	117,95	75,65	76,06	Réducteur de pression		4,34	6,34	10,00
								PS= 43,85	41,89			
3	600	1180	2,04	117,95	108,55	76,06	68,69	41,89	39,86	5,08	7,08	10,00
4	536,56	1716,56	1,82	108,55	86,40	68,69	48,36	39,86	38,04	7,11	9,11	10,00
5	583,44	2300	1,98	86,40	79,34	48,36	43,28	38,04	36,06	7,62	9,62	10,00
6	536,61	2836,61	1,82	79,34	72,66	43,28	38,42	36,06	34,24	8,11	10,11	12,00
7	543,39	3380	1,84	72,66	67,56	38,42	35,17	34,24	32,39	8,43	10,43	12,00
8	600	3980	2,04	67,56	64,67	35,17	34,31	32,39	30,36	8,52	10,52	12,00
9	560	4540	1,90	64,67	67,70	34,31	39,24	30,36	28,46	8,03	10,03	12,00
10	540	5080	1,83	67,70	60,59	39,24	33,97	28,46	26,62	8,55	10,55	12,00
11	540	5620	1,83	60,59	55,94	33,97	31,15	26,62	24,79	8,83	10,83	12,00
12	520	6140	1,76	55,94	55,22	31,15	32,19	24,79	23,03	8,73	10,73	12,00
13	600	6740	2,04	55,22	52,65	32,19	31,66	23,03	20,99	8,78	10,78	12,00
14	540	7280	1,83	52,65	49,00	31,66	29,84	20,99	19,16	8,97	10,97	12,00
15	540	7820	1,83	49,00	44,43	29,84	27,1	19,16	17,33	9,24	11,24	12,00
16	530,3	8350,3	1,80	44,43	41,83	27,1	26,3	17,33	15,53	9,32	11,32	12,00
17	549,7	8900	1,87	51,83	44,45	36,3	30,79	15,53	13,66	8,87	10,87	12,00
18	549,7	9449,7	1,87	44,45	33,68	30,79	21,88	13,66	11,80	9,76	11,76	12,00
19	554,07	10003,77	1,88	33,68	32,76	21,88	22,84	11,80	9,92	9,67	11,67	12,00
20	485,93	10489,7	1,65	32,76	29,95	22,84	21,68	9,92	8,27	9,78	11,78	12,00
21	373,72	10863,42	1,27	29,95	32,38	21,68	25,38	8,27	7,00	9,41	11,41	12,00

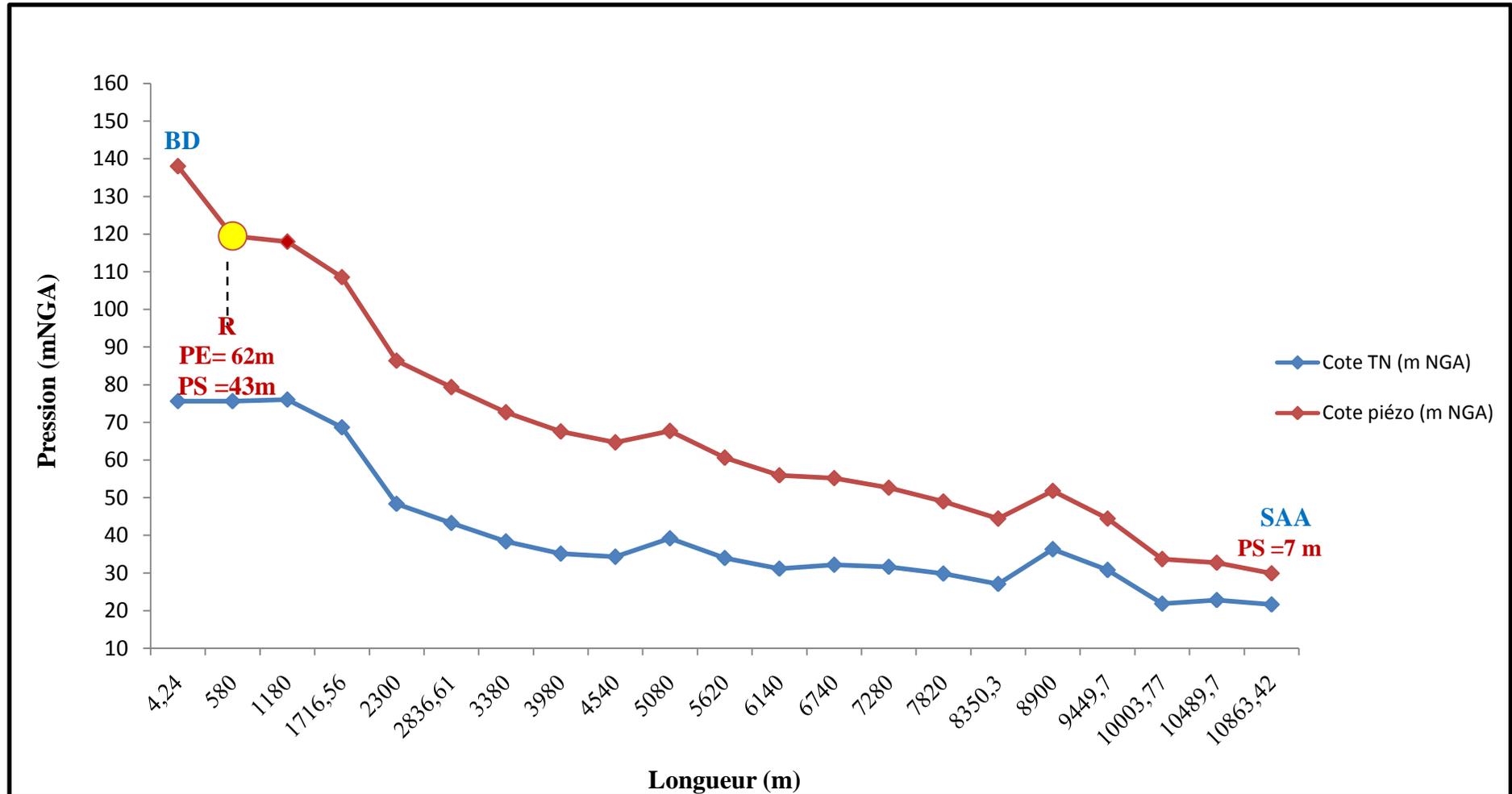


Figure N°56 : Profil piézométrique : Conduite en Béton  $n= 0,25$  - Réducteur de pression amont.

Tableau N°34: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur amont - Conduite en PRV  $n=0,029$ .

PRV : $n=0,029$ mm $v=1,84$ m/s $Q=0,93$ m <sup>3</sup> /s $D=800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	PE=62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,47	110,46	109,39	75,65	76,06	Réducteur de pression		3,44	5,44	10,00
								PS=34,81	33,33			
3	600	1180	1,54	109,39	100,49	76,06	68,69	33,33	31,80	4,18	6,18	10,00
4	536,56	1716,56	1,37	100,49	78,78	68,69	48,36	31,80	30,42	6,21	8,21	10,00
5	583,44	2300	1,49	78,78	72,21	48,36	43,28	30,42	28,93	6,72	8,72	10,00
6	536,61	2836,61	1,37	72,21	65,97	43,28	38,42	28,93	27,55	7,20	9,20	10,00
7	543,39	3380	1,39	65,97	61,33	38,42	35,17	27,55	26,16	7,53	9,53	10,00
8	600	3980	1,54	61,33	58,94	35,17	34,31	26,16	24,63	7,61	9,61	10,00
9	560	4540	1,43	58,94	62,43	34,31	39,24	24,63	23,19	7,12	9,12	10,00
10	540	5080	1,38	62,43	55,78	39,24	33,97	23,19	21,81	7,65	9,65	10,00
11	540	5620	1,38	55,78	51,58	33,97	31,15	21,81	20,43	7,93	9,93	10,00
12	520	6140	1,33	51,58	51,28	31,15	32,19	20,43	19,09	7,83	9,83	10,00
13	600	6740	1,54	51,28	49,22	32,19	31,66	19,09	17,56	7,88	9,88	10,00
14	540	7280	1,38	49,22	46,02	31,66	29,84	17,56	16,18	8,06	10,06	12,00
15	540	7820	1,38	46,02	41,89	29,84	27,1	16,18	14,79	8,34	10,34	12,00
16	530,3	8350,3	1,36	41,89	39,74	27,1	26,3	14,79	13,44	8,42	10,42	12,00
17	549,7	8900	1,41	39,74	42,82	36,3	30,79	13,44	12,03	7,97	9,97	10,00
18	549,7	9449,7	1,41	42,82	32,50	30,79	21,88	12,03	10,62	8,86	10,86	12,00
19	554,07	10003,77	1,42	32,50	32,04	21,88	22,84	10,62	9,20	8,76	10,76	12,00
20	485,93	10489,7	1,24	32,04	29,64	22,84	21,68	9,20	7,96	8,88	10,88	12,00
21	373,72	10863,42	0,96	29,64	32,38	21,68	25,38	7,96	7,00	8,51	10,51	12,00

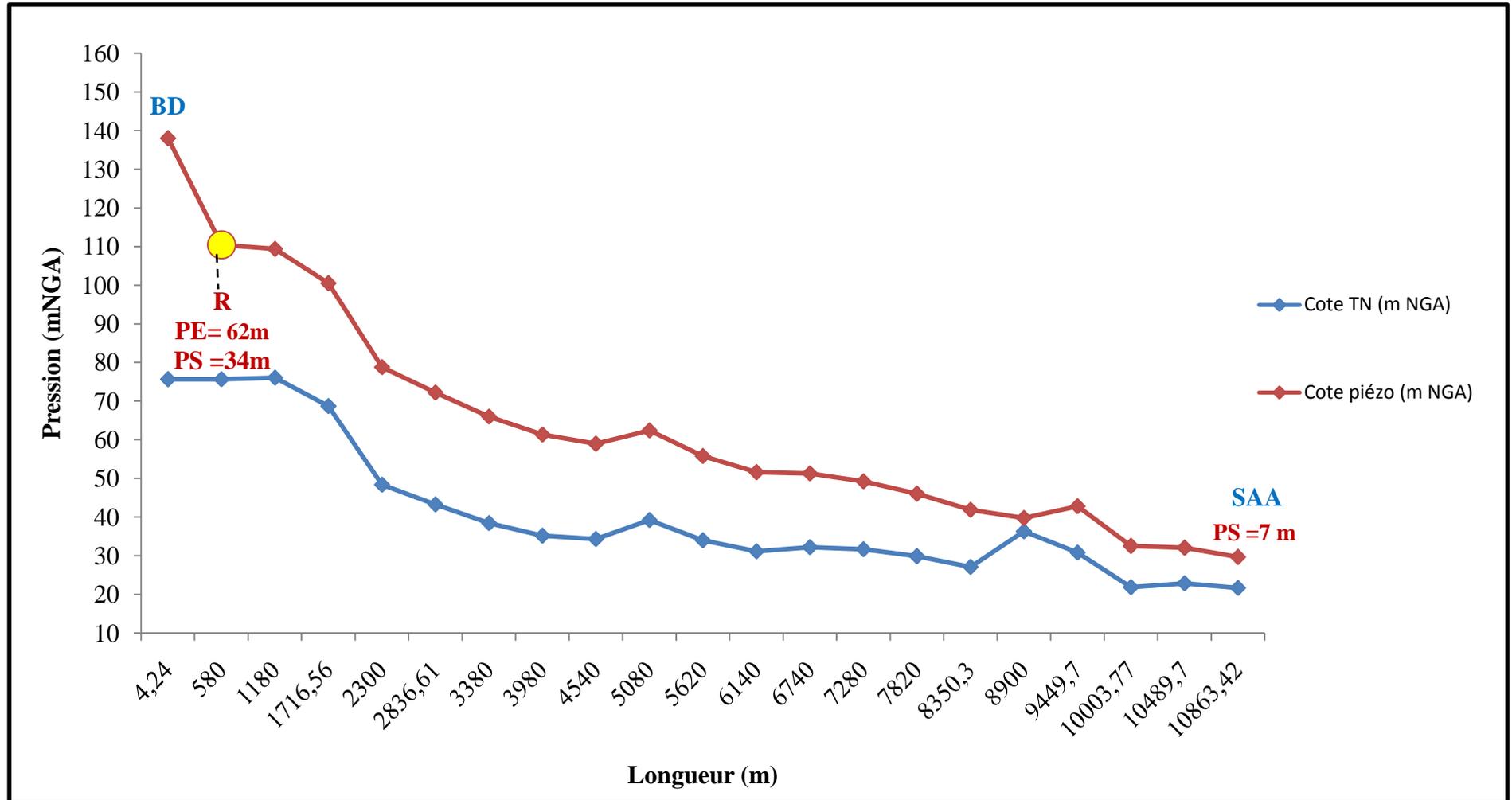


Figure N°57 : Profil piézométrique : Conduite en PRV  $n=0,029$  - Réducteur de pression amont.

Afin de porter un jugement sur l'influence du réducteur de pression sur les pressions conjuguées aux longueurs des tronçons, le tableau N°35 donne pour chaque variante de transfert et dans le cas d'un réducteur de pression implanté en amont les pressions dans les tronçons combiné avec les longueurs respectives.

Tableau N°35 : Pression conjuguées aux longueurs des tronçons du transfert - Réducteur de pression amont.

Types	Rugosité (mm)	Pression min (bars)	Pression max (bars)	Pression moyenne (bars)	PN arrêtée (bars)	Longueurs des tronçons (m)
Fonte ductile	0,1	5,81	8,52	9,75	10	4 540,00
					12	6 323,42
	0,5	4,26	8,54	8,18	10	2 860,00
					12	8 003,42
Béton	0,1	5,81	11,25	9,75	10	4 540,00
					12	6 323,42
	0,25	4,34	9,78	8,26	10	2 300,00
					12	8 026,81
PRV	0.029	5,44	10,88	9,40	10	6 750,00
					12	3 573,72
BPAT	0.5	4,26	9,70	8,18	10	2 860,00
					12	8 003,42
Acier	0,05	3,59	9,03	7,54	-	5 080
					-	5 783,42
	0,5	4,26	9,70	8,18	-	2 860,00
					-	8 003,42

### VII.2.2. Réducteurs de pression aval

D'une manière similaire que le cas d'un réducteur de pression amont, le calcul des pertes de charge depuis le barrage de Douera jusqu'au lieu d'implantation du réducteur définit la pression d'entrée au réducteur. La pression de sortie par l'exigence  $P \leq 0.7$  bars.

Pour les différentes variantes étudiées et pour ce 2<sup>ème</sup> cas d'implantation d'un réducteur de pression à l'aval du transfert, les calculs hydrauliques et les profils piézométriques y afférant sont présentés respectivement sur les tableaux de 36 à 43 et les figures de 58 à 66.

La figure N°57 donne le schéma du transfert.

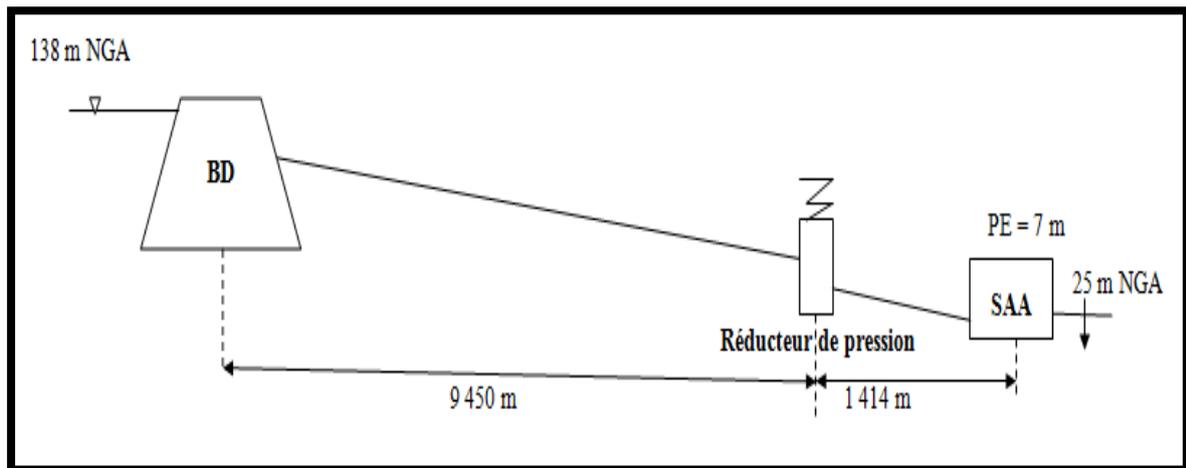


Figure 58: Schéma du transfert – Réducteur aval.

Tableau N°36 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en BPAT n=0,5.

BPAT : n=0,5      v = 1,84 m/s      Q = 0,93 m <sup>3</sup> /s      D <sub>ext</sub> = 970 mm      D <sub>int</sub> = 800 mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	20	575,76	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	20	600	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	2,35	536,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	20	583,44	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	16,61	536,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	20	543,39	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	20	600	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	20	560	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	20	540	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	20	540	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	20	520	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	20	600	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	20	540	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	20	540	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	20	530,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	10,3	549,7	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	20	549,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	PE=79,30	11,61	13,61	14,00
19	14,07	554,07	2,16	34,39	33,19	21,88	22,84	<b>Réducteur de pression</b>		1,15	3,15	10,00
								PS=12,51	10,35			
20	20	485,93	1,89	33,19	30,14	22,84	21,68	10,35	8,46	1,27	3,27	10,00
21	13,72	373,72	1,46	30,14	32,38	21,68	25,38	8,46	7,00	0,90	2,90	10,00

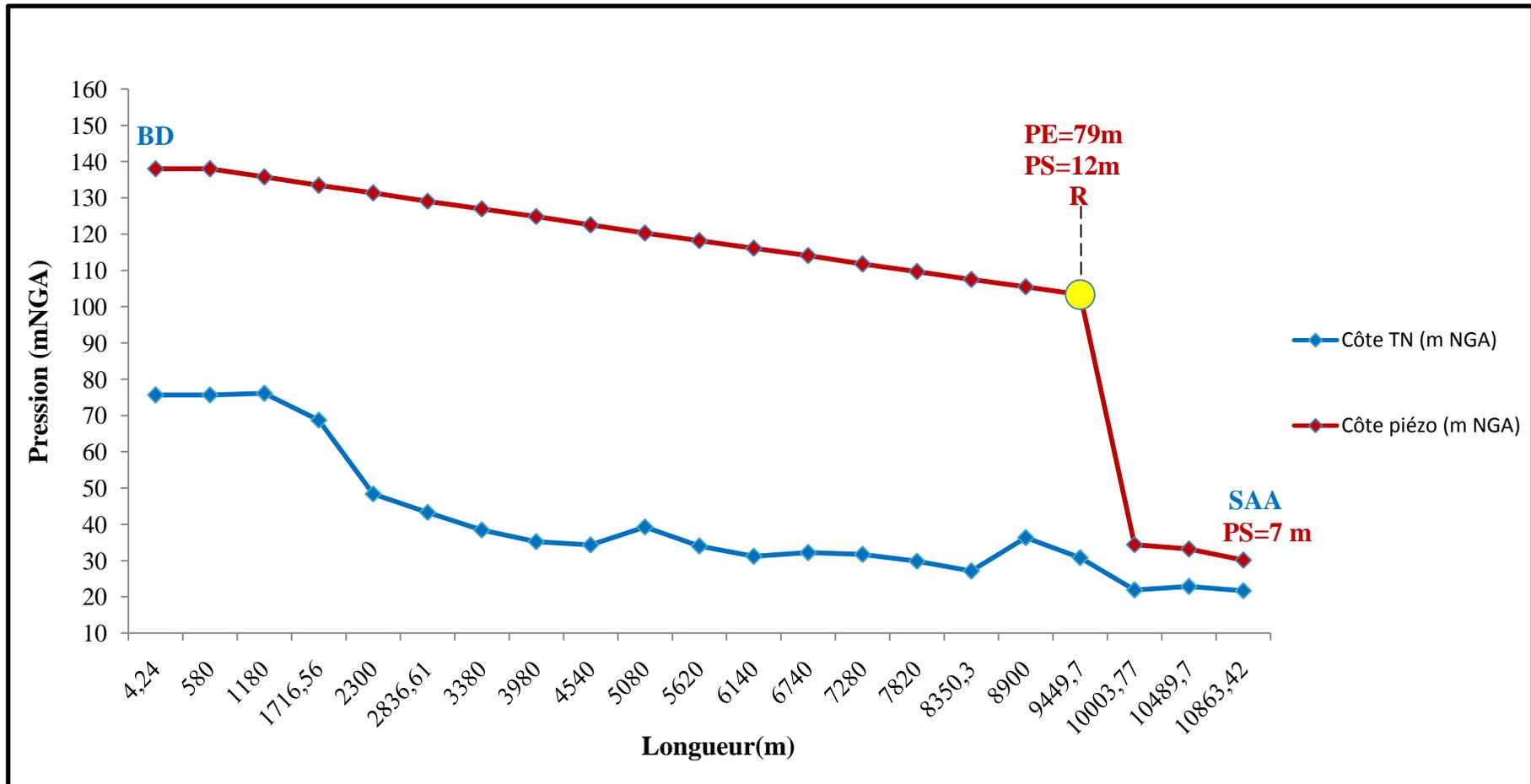


Figure N°59 : Profil piézométrique : Conduite en BPAT  $n=0,5$  - Réducteur de pression aval.

Tableau N° 37: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en fonte ductile  $n=0,1$ .

Fonte ductile : $n = 0,1$ $v = 1,84 \text{ m/s}$ $Q = 0,93 \text{ m}^3/\text{s}$ $D = 800 \text{ mm}$												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,67	137,99	136,32	75,65	76,06	62,34	60,26	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,74	136,32	134,57	76,06	68,69	60,26	65,88	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,56	134,57	133,02	68,69	48,36	65,88	84,66	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,69	133,02	131,32	48,36	43,28	84,66	88,04	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,56	131,32	129,76	43,28	38,42	88,04	91,34	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,58	129,76	128,19	38,42	35,17	91,34	93,02	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,74	128,19	126,44	35,17	34,31	93,02	92,13	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,63	126,44	124,82	34,31	39,24	92,13	85,58	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,57	124,82	123,25	39,24	33,97	85,58	89,28	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,57	123,25	121,68	33,97	31,15	89,28	90,53	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,51	121,68	120,17	31,15	32,19	90,53	87,98	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,74	120,17	118,43	32,19	31,66	87,98	86,77	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,57	118,43	116,86	31,66	29,84	86,77	87,02	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,57	116,86	115,29	29,84	27,1	87,02	88,19	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,54	115,29	113,75	27,1	26,3	88,19	87,45	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,60	113,75	112,16	36,3	30,79	77,45	81,37	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,60	112,16	110,56	30,79	21,88	81,37	PE=88,68	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,61	32,99	32,34	21,88	22,84	<b>Réducteur de pression</b>		1,01	3,01	10,00
								PS=11,1	9,50			
20	485,93	10489,7	1,41	32,34	29,77	22,84	21,68	9,50	8,09	1,13	3,13	10,00
21	373,72	10863,42	1,09	29,77	32,38	21,68	25,38	8,09	7,00	0,76	2,76	10,00

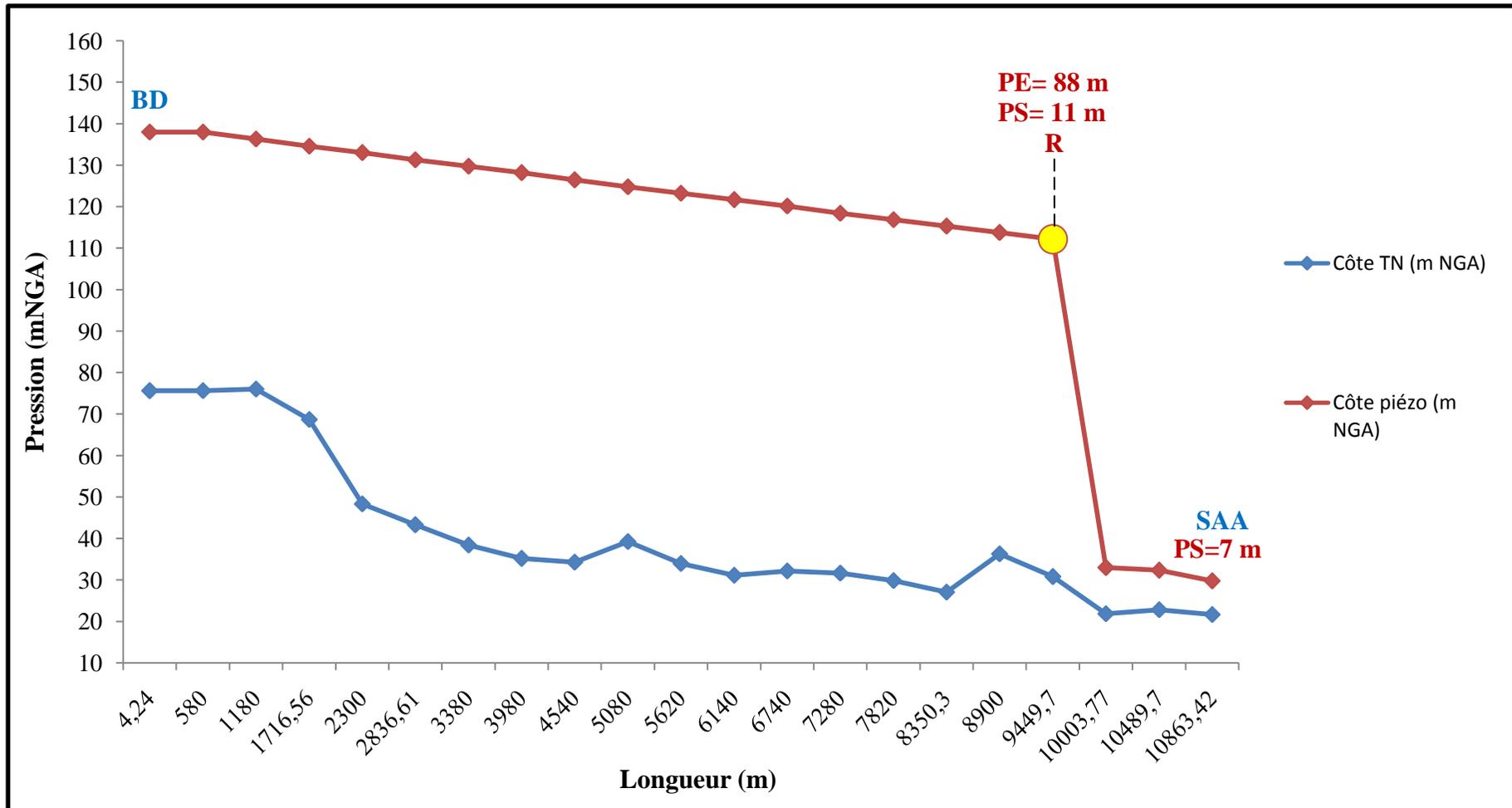


Figure N°60 : Profil piézométrique : Conduite en Fonte ductile  $n = 0,1$  - Réducteur de pression aval.

Tableau N°38 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en fonte ductile  $n=0,5$ .

Fonte ductile: $n=0,5$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D= 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	20	575,76	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	20	600	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	2,35	536,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	20	583,44	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	16,61	536,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	20	543,39	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	20	600	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	20	560	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	20	540	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	20	540	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	20	520	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	20	600	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	20	540	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	20	540	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	20	530,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	10,3	549,7	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	20	549,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	PE=79,30	11,61	13,61	14,00
19	14,07	554,07	2,16	34,39	33,19	21,88	22,84	<b>Réducteur de pression</b>		1,15	3,15	10,00
								PS=12,51	10,35			
20	20	485,93	1,89	33,19	30,14	22,84	21,68	10,35	8,46	1,27	3,27	10,00
21	13,72	373,72	1,46	30,14	32,38	21,68	25,38	8,46	7,00	0,90	2,90	10,00

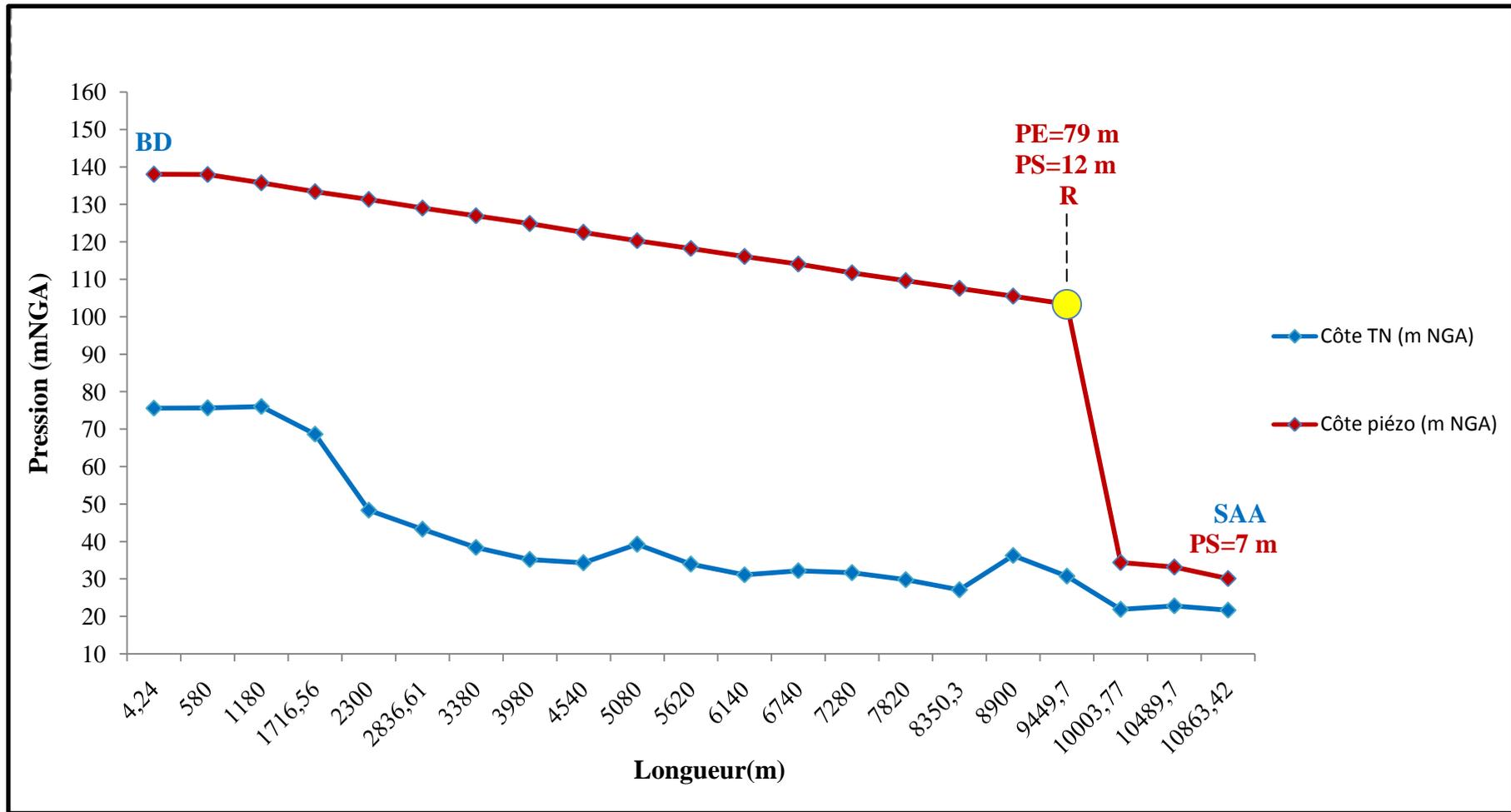


Figure N°61 : Profil piézométrique - Conduite en Fonte ductile  $n=0,5$  - Réducteur de pression aval.

Tableau N° 39 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Acier n=0,05.

Acier : n= 0,05 mm v= 1,84 m/s Q= 0,93 m <sup>3</sup> /s D = 800 mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueurs cumulées	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN référence (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,55	137,99	136,43	75,65	76,06	62,34	60,37	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,62	136,43	134,81	76,06	68,69	60,37	66,12	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,45	134,81	133,36	68,69	48,36	66,12	85,00	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,58	133,36	131,79	48,36	43,28	85,00	88,51	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,45	131,79	130,34	43,28	38,42	88,51	91,92	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,47	130,34	128,87	38,42	35,17	91,92	93,70	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,62	128,87	127,25	35,17	34,31	93,70	92,94	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,51	127,25	125,74	34,31	39,24	92,94	86,50	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,46	125,74	124,28	39,24	33,97	86,50	90,31	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,46	124,28	122,82	33,97	31,15	90,31	91,67	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,40	122,82	121,42	31,15	32,19	91,67	89,23	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,62	121,42	119,80	32,19	31,66	89,23	88,14	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,46	119,80	118,34	31,66	29,84	88,14	88,50	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,46	118,34	116,88	29,84	27,1	88,50	89,78	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,43	116,88	115,45	27,1	26,3	89,78	89,15	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,48	115,45	113,97	36,3	30,79	79,15	83,18	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,48	113,97	112,48	30,79	21,88	83,18	PE=90,6	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,50	32,70	32,16	21,88	22,84	<b>Réducteur de pression</b>		0,99	2,99	10,00
								PS=10,82	9,32			
20	485,93	10489,7	1,31	32,16	29,69	22,84	21,68	9,32	8,01	1,10	3,10	10,00
21	373,72	10863,42	1,01	29,69	32,38	21,68	25,38	8,01	7,00	0,73	2,73	10,00

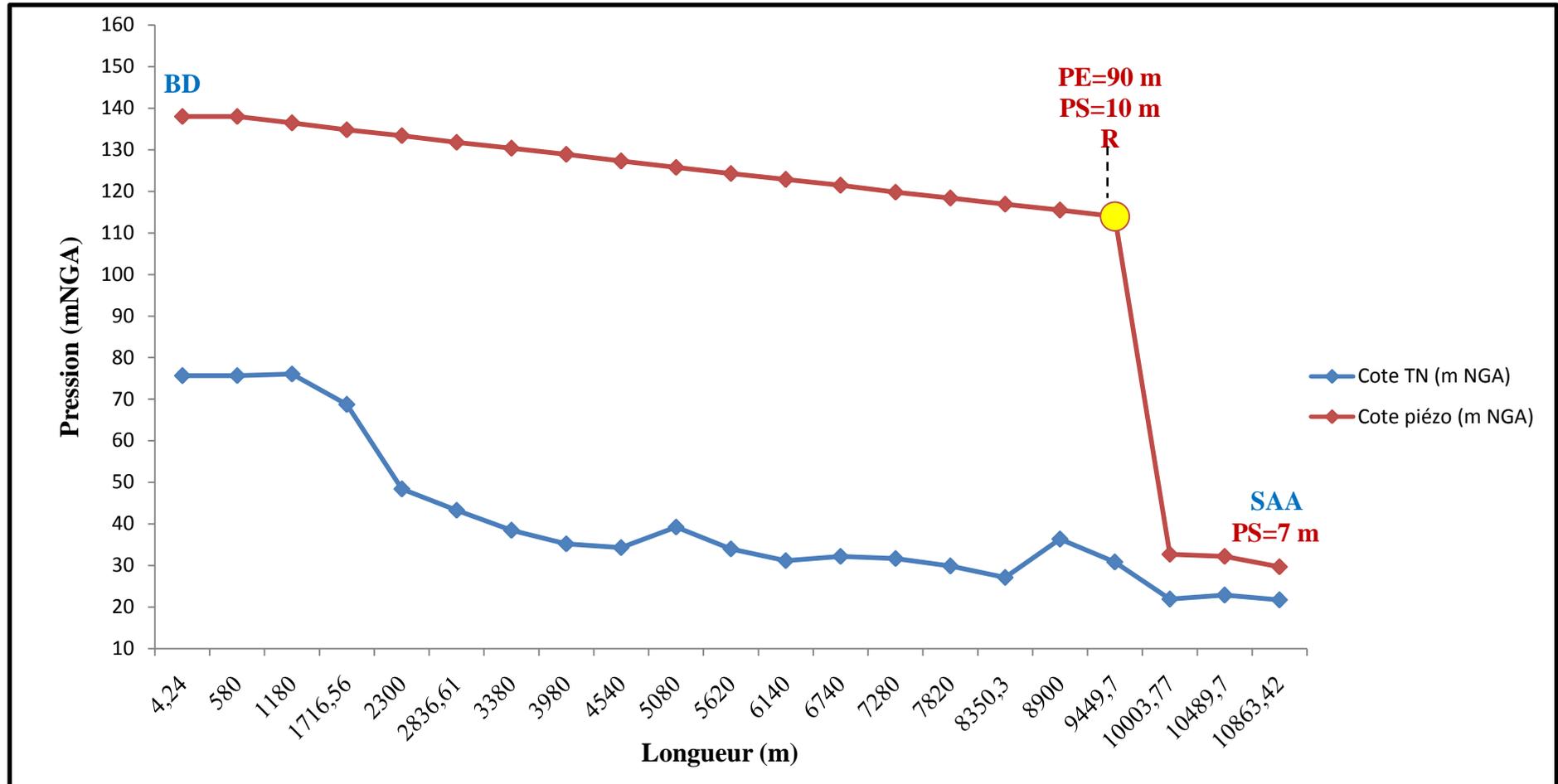


Figure N°62 : Profil piézométrique : Conduite en Acier  $n=0,05$  - Réducteur de pression aval.

Tableau N°40 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Acier n=0,5.

Acier : n=0,5      v = 1,84 m/s      Q = 0,93 m <sup>3</sup> /s      D= 800 mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN référence (Bar)
				amont	aval	amont	aval	amont	aval			
1	4,24	4,24	0,02	138	137,98	75,63	75,65	62,37	62,33	6,24	8,24	10,00
2	20	575,76	2,24	137,98	135,74	75,65	76,06	62,33	59,68	6,19	8,19	10,00
3	20	600	2,34	135,74	133,40	76,06	68,69	59,68	64,71	6,93	8,93	10,00
4	2,35	536,56	2,09	133,40	131,31	68,69	48,36	64,71	82,95	8,96	10,96	12,00
5	20	583,44	2,27	131,31	129,04	48,36	43,28	82,95	85,76	9,47	11,47	12,00
6	16,61	536,61	2,09	129,04	126,95	43,28	38,42	85,76	88,53	9,96	11,96	12,00
7	20	543,39	2,12	126,95	124,83	38,42	35,17	88,53	89,66	10,28	12,28	14,00
8	20	600	2,34	124,83	122,49	35,17	34,31	89,66	88,18	10,37	12,37	14,00
9	20	560	2,18	122,49	120,31	34,31	39,24	88,18	81,07	9,87	11,87	12,00
10	20	540	2,10	120,31	118,21	39,24	33,97	81,07	84,24	10,40	12,40	14,00
11	20	540	2,10	118,21	116,10	33,97	31,15	84,24	84,95	10,68	12,68	14,00
12	20	520	2,03	116,10	114,08	31,15	32,19	84,95	81,89	10,58	12,58	14,00
13	20	600	2,34	114,08	111,74	32,19	31,66	81,89	80,08	10,63	12,63	14,00
14	20	540	2,10	111,74	109,64	31,66	29,84	80,08	79,80	10,81	12,81	14,00
15	20	540	2,10	109,64	107,53	29,84	27,1	79,80	80,43	11,09	13,09	14,00
16	20	530,3	2,07	107,53	105,47	27,1	26,3	80,43	79,17	11,17	13,17	14,00
17	10,3	549,7	2,14	105,47	103,33	36,3	30,79	69,17	72,54	10,72	12,72	14,00
18	20	549,7	2,14	103,33	101,18	30,79	21,88	72,54	PE=79,3	11,61	13,61	14,00
19	14,07	554,07	2,16	34,39	33,19	21,88	22,84	Réducteur de pression		1,15	3,15	10,00
								PS=12,51	10,35			
20	20	485,93	1,89	33,19	30,14	22,84	21,68	10,35	8,46	1,27	3,27	10,00
21	13,72	373,72	1,46	30,14	32,38	21,68	25,38	8,46	7,00	0,90	2,90	10,00

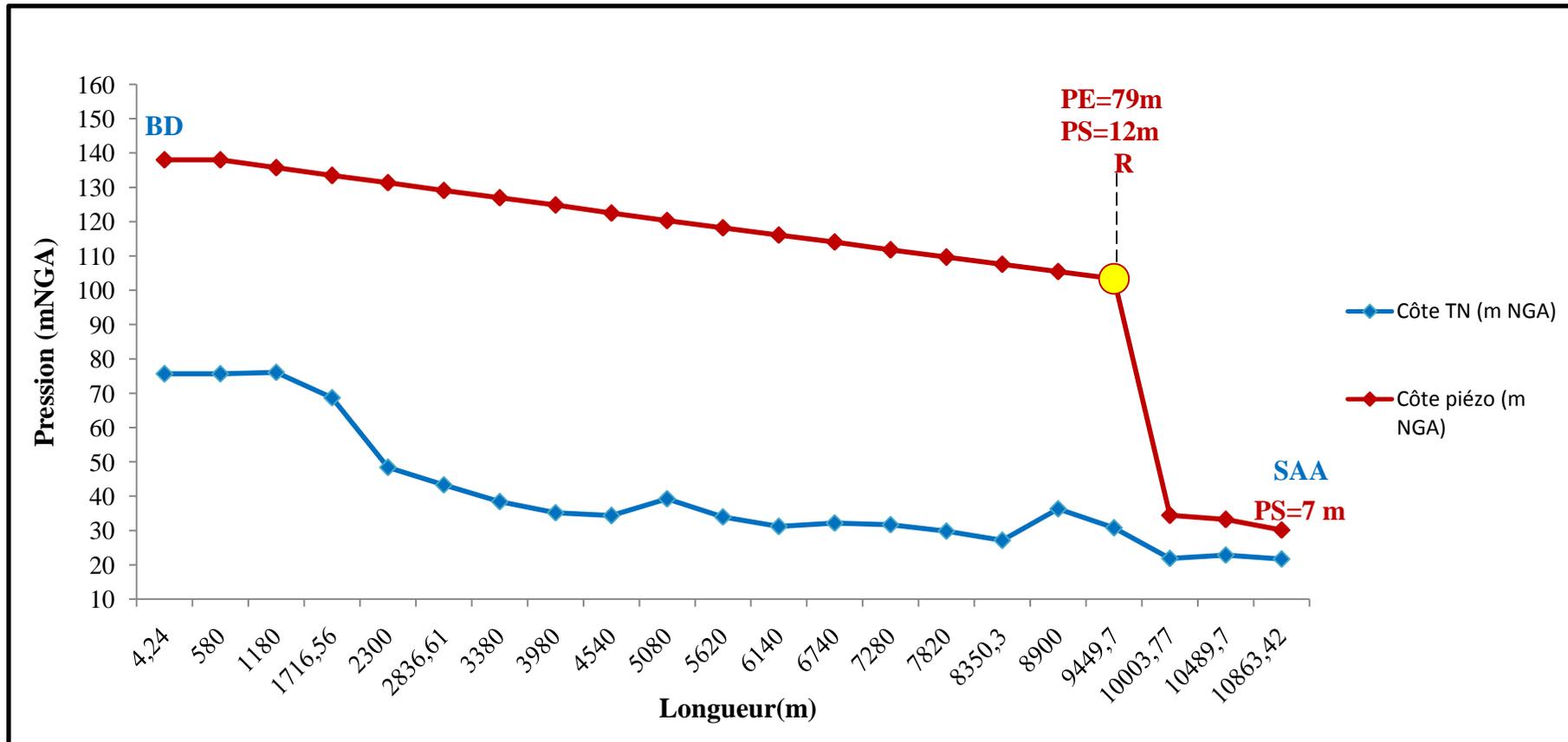


Figure N°63 : Profil piézométrique : Conduite en Acier  $n=0,5$  - Réducteur de pression aval.

Tableau N° 41 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Béton  $n=0,1$ .

Béton : $n = 0,1$ $v = 1,84$ m/s $Q = 0,93$ m <sup>3</sup> /s $D = 800$ mm												
N° tronçon	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,67	137,99	136,32	75,65	76,06	62,34	60,26	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,74	136,32	134,57	76,06	68,69	60,26	65,88	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,56	134,57	133,02	68,69	48,36	65,88	84,66	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,69	133,02	131,32	48,36	43,28	84,66	88,04	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,56	131,32	129,76	43,28	38,42	88,04	91,34	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,58	129,76	128,19	38,42	35,17	91,34	93,02	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,74	128,19	126,44	35,17	34,31	93,02	92,13	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,63	126,44	124,82	34,31	39,24	92,13	85,58	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,57	124,82	123,25	39,24	33,97	85,58	89,28	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,57	123,25	121,68	33,97	31,15	89,28	90,53	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,51	121,68	120,17	31,15	32,19	90,53	87,98	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,74	120,17	118,43	32,19	31,66	87,98	86,77	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,57	118,43	116,86	31,66	29,84	86,77	87,02	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,57	116,86	115,29	29,84	27,1	87,02	88,19	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,54	115,29	113,75	27,1	26,3	88,19	87,45	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,60	113,75	112,16	36,3	30,79	77,45	81,37	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,60	112,16	110,56	30,79	21,88	81,37	PE=88,68	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,61	32,99	32,34	21,88	22,84	<b>Réducteur de pression</b>		1,01	3,01	10,00
								PS=11,11	9,50			
20	485,93	10489,7	1,41	32,34	29,77	22,84	21,68	9,50	8,09	1,13	3,13	10,00
21	373,72	10863,42	1,09	29,77	32,38	21,68	25,38	8,09	7,00	0,76	2,76	10,00

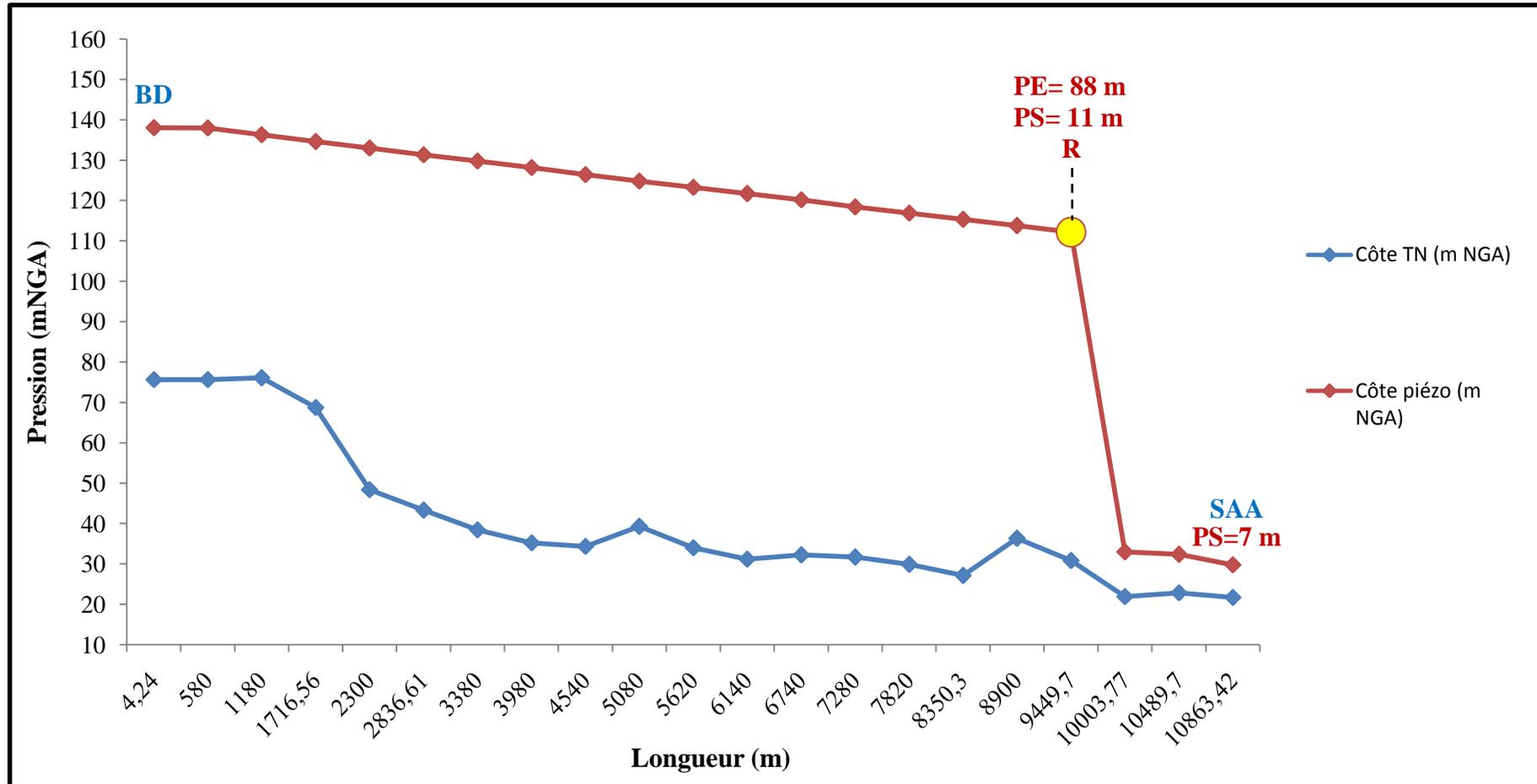


Figure N°64 : Profil piézométrique : Conduite en Béton  $n=0,1$  - Réducteur de pression aval.

Tableau N° 42: Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en Béton n=0,25.

Béton : n= 0,25 mm      v= 1,84 m/s      Q= 0,93 m <sup>3</sup> /s      D= 800 mm												
N° tronçon	Longueurs partielles (m)	Longueurs cumulées	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,95	137,99	136,03	75,65	76,06	62,34	59,97	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	2,04	136,03	134,00	76,06	68,69	59,97	65,31	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,82	134,00	132,18	68,69	48,36	65,31	83,82	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,98	132,18	130,20	48,36	43,28	83,82	86,92	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,82	130,20	128,38	43,28	38,42	86,92	89,96	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,84	128,38	126,53	38,42	35,17	89,96	91,36	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	2,04	126,53	124,50	35,17	34,31	91,36	90,19	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,90	124,50	122,60	34,31	39,24	90,19	83,36	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,83	122,60	120,76	39,24	33,97	83,36	86,79	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,83	120,76	118,93	33,97	31,15	86,79	87,78	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,76	118,93	117,17	31,15	32,19	87,78	84,98	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	2,04	117,17	115,13	32,19	31,66	84,98	83,47	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,83	115,13	113,30	31,66	29,84	83,47	83,46	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,83	113,30	111,47	29,84	27,1	83,46	84,37	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,80	111,47	109,67	27,1	26,3	84,37	83,37	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,87	109,67	107,80	36,3	30,79	73,37	77,01	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,87	107,80	105,94	30,79	21,88	77,01	PE=84,06	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,88	33,68	32,76	21,88	22,84	<b>Réducteur de pression</b>		1,08	3,08	10,00
								PS=11,80	9,92			
20	485,93	10489,7	1,65	32,76	29,95	22,84	21,68	9,92	8,27	1,20	3,20	10,00
21	373,72	10863,42	1,27	29,95	32,38	21,68	25,38	8,27	7,00	0,83	2,83	10,00

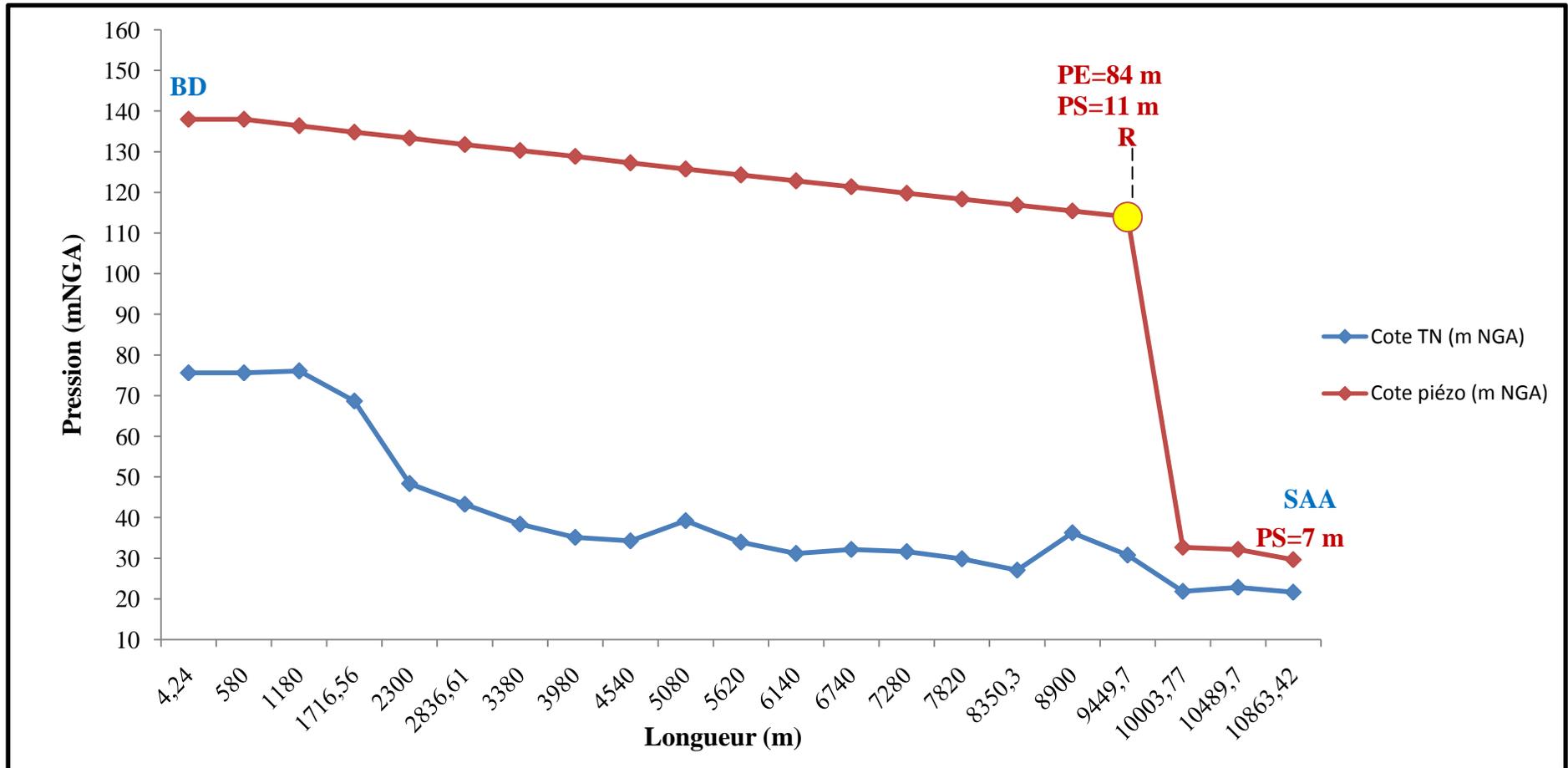


Figure N°65: Profil piézométrique : Conduite en Béton  $n = 0.25$  - Réducteur de pression aval

Tableau N° 43 : Dimensionnement hydraulique du transfert - Réducteur aval - Conduite en PRV n=0,029.

PRV : n= 0,029 mm      v= 1,84 m/s      Q= 0,93 m <sup>3</sup> /s      D = 800 mm												
N° tronçon	Longueur partielles (m)	Longueur cumulée	JT (m)	Côte piézo (m NGA)		Côte TN (m NGA)		Charge résiduelle TN (m)		Pression Statique (Bar)	PN calculée (Bar)	PN arrêtée (Bar)
				Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval			
1	4,24	4,24	0,01	138	137,99	75,63	75,65	62,37	62,34	6,24	8,24	10,00
2	575,76	580	1,49	137,99	136,50	75,65	76,06	62,34	60,44	6,19	8,19	10,00
3	600	1180	1,55	136,50	134,95	76,06	68,69	60,44	66,26	6,93	8,93	10,00
4	536,56	1716,56	1,39	134,95	133,57	68,69	48,36	66,26	85,21	8,96	10,96	12,00
5	583,44	2300	1,51	133,57	132,06	48,36	43,28	85,21	88,78	9,47	11,47	12,00
6	536,61	2836,61	1,39	132,06	130,68	43,28	38,42	88,78	92,26	9,96	11,96	12,00
7	543,39	3380	1,40	130,68	129,27	38,42	35,17	92,26	94,10	10,28	12,28	14,00
8	600	3980	1,55	129,27	127,73	35,17	34,31	94,10	93,42	10,37	12,37	14,00
9	560	4540	1,45	127,73	126,28	34,31	39,24	93,42	87,04	9,87	11,87	12,00
10	540	5080	1,39	126,28	124,89	39,24	33,97	87,04	90,92	10,40	12,40	14,00
11	540	5620	1,39	124,89	123,49	33,97	31,15	90,92	92,34	10,68	12,68	14,00
12	520	6140	1,34	123,49	122,15	31,15	32,19	92,34	89,96	10,58	12,58	14,00
13	600	6740	1,55	122,15	120,60	32,19	31,66	89,96	88,94	10,63	12,63	14,00
14	540	7280	1,39	120,60	119,21	31,66	29,84	88,94	89,37	10,81	12,81	14,00
15	540	7820	1,39	119,21	117,81	29,84	27,1	89,37	90,71	11,09	13,09	14,00
16	530,3	8350,3	1,37	117,81	116,44	27,1	26,3	90,71	90,14	11,17	13,17	14,00
17	549,7	8900	1,42	116,44	115,02	36,3	30,79	80,14	84,23	10,72	12,72	14,00
18	549,7	9449,7	1,42	115,02	113,61	30,79	21,88	84,23	PE=91,73	11,61	13,61	14,00
19	554,07	10003,77	1,43	32,53	32,06	21,88	22,84	Réducteur de pression		0,97	2,97	10,00
								PS=10,65	9,22			
20	485,93	10489,7	1,25	32,06	29,64	22,84	21,68	9,22	7,96	1,08	3,08	10,00
21	373,72	10863,42	0,96	29,64	32,38	21,68	25,38	7,96	7,00	0,71	2,71	10,00

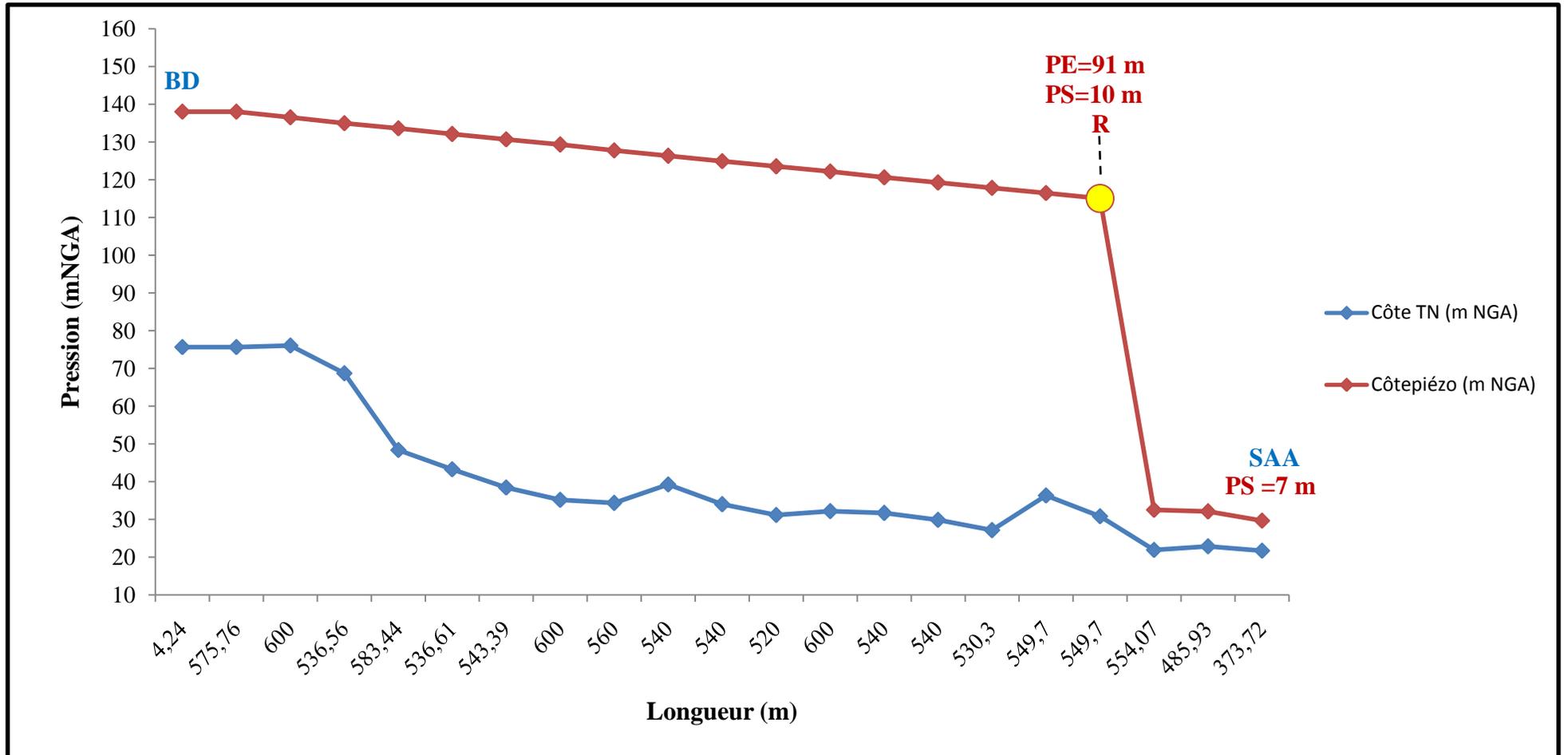


Figure N°66 : Profil piézométrique : Conduite en PRV  $n=0,029$  - Réducteur de pression aval.

Afin de porter un jugement sur l'influence du réducteur de pression sur les pressions conjuguées aux longueurs des tronçons, le tableau N° 44 donne pour chaque variante de transfert et dans le cas d'un réducteur de pression implanté en aval les pressions dans les tronçons combiné avec les longueurs respectives.

Tableau N° 44 : Pressions conjuguées aux longueurs des tronçons du transfert - Réducteur aval.

Types	Rugosité (mm)	Pression min (bars)	Pression max (bars)	Pression moyenne (bars)	PN arrêtée (bars)	Longueurs des tronçons (m)
Fonte ductile	0,1	0,76	11,61	8.52	10	2 593,72
					12	2 216,61
					14	6 053,09
	0,5	4,69	10,13	8.52	10	2 593,72
					12	2 216,61
					14	6 053,09
Béton	0,1	0,76	11,61	8.52	10	2 593,72
					12	2 216,61
					14	6 053,09
	0,25	0,73	11,61	8,51	10	2 593,72
					12	2 216,61
					14	6 053,09
PRV	0.029	2,73	13,61	10,51	10	2 593,72
					12	2 216,61
					14	6 053,09
BPAT	0,5	4,69	10,13	8,52	10	2 593,72
					12	2 216,61
					14	6 053,09
Acier	0,05	0,73	11,61	8,51	-	2 593,72
					-	2 216,61
					-	6 053,09
	0,5	4,69	10,13	8.52	-	2 593,72
					-	2 216,61
					-	6 053,09

## VIII. ETUDE ECONOMIQUE COMPARATIVE

Cette partie du travail est consacrée à une analyse économique entre les variantes de transfert proposées et ayant fait l'objet de conception et de dimensionnement hydraulique.

### VIII.1. Evaluation des prix de revient

En fonction des pressions nominales calculées pour les différentes variantes, on se propose d'estimer les postes s'intégrant dans le prix de revient du mètre linéaire des canalisations de transfert.

Les paramètres rentrant dans le calcul des frais de fourniture et pose des canalisations sont détaillés dans ce qui suit:

- Transport: le moyen de transport (camion 12 m / 2.5 m) peut transporter 11 canalisations de diamètre 400 mm, soit un linéaire de 132 m,
- Manutention et pose en tranchée: cette tâche offre une cadence de pose de 48 m/j et le tarif journalier s'élève à 36 000 DA,
- Main d'œuvre: 4 ouvrier pour une rémunération de 2000 DA,
- Prix d'achat: Prix de fournisseur et/ou fabricant,
- Prix de pose: somme de prix par mètre linéaire (transport, manutention, pose en tranché et main œuvre),
- Prix global: prix de fourniture sur site + prix de pose.

Les tableaux 45 à 57 détaillent l'ensemble des frais pour les postes de fourniture et de pose des canalisations de différentes pressions nominales.

Tableau N° 45 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en BPAT (PN10)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833,33	22 880
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2000 DA/ ouvrier	8 000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	24 630			

Tableau N° 46 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en BPAT (PN12)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833,33	24 175,71
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2000 DA/ ouvrier	8 000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	25 925,71			

Tableau N°47 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en BPAT (PN14)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833.33	26 455
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166.67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	28 205			

Tableau N°48 : Calcul des coûts de fourniture et pose -Canalisation en PRV (PN10)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	60 m	30 000	500	13 156
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 416,7			
<b>Prix global (DA)</b>	14 572,67 DA			

Tableau N°49 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation PRV (PN12)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	60 m	30000	500	17 487,2
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 416,7			
<b>Prix global (DA)</b>	18 903,9			

Tableau N°50 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation PRV (PN14)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	60 m	30000	500	20 401,2
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 416,7			
<b>Prix global (DA)</b>	21 817,2			

Tableau N°51 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Béton armé (PN10)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833.33	4 500
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166.67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	6 250			

Tableau N°52 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation Béton armé (PN12)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833.33	5 400
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166.67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	7 150 DA			

Tableau N°53 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation Béton armé (PN14)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833.33	6 300
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166.67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	8 050			

Tableau N°54 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Fonte ductile (PN10)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833,33	14 165,2
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	15 915,2			

Tableau N°55 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Fonte ductile (PN12)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833,33	16 998,2
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	18 748,2			

Tableau N°56 : Calcul des coûts de fourniture et pose - Canalisation en Fonte ductile (PN14)

	<b>Rendement individuel</b>	<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m	30 000	833,33	19 831,2
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	48 m	36 000	750	
<b>Main d'œuvre</b>	2 000 DA/ ouvrier	8 000	166,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	1 750			
<b>Prix global (DA)</b>	21 581,2			

Tableau N°57: Calcul des coûts de fourniture et pose canalisation en Acier

	<b>Rendement individuel</b>		<b>Rendement global (DA)</b>	<b>Prix par mètre linéaire (DA)</b>	<b>Prix d'achat (DA)</b>
<b>Transport</b>	36 m		40 000	1 111,11	16 000
<b>Manutention et pose en tranchée</b>	60 m		36 000	600	
<b>Main d'œuvre</b>	Ordinaire	2 000 DA/ouvrier	6 000	100	
	Spécialisé	8 000 DA/ouvrier	32 000	533,33	
<b>Protection cathodique</b>	11 000 m		3 500 000	318,33	
<b>Soudage</b>	60 m		12 000	200	
<b>Revêtement</b>	500 DA/ conduite			41,67	
<b>Prix de pose (DA)</b>	2 617,29				
<b>Prix global (DA)</b>	18 617,29				

### VIII.2. Synthèse de l'analyse économique

En guise de synthèse, les tableaux N°58, N°59 et N°60 et les figures de N° 66 à N° 69 synthétisent une balance comparative économique pour les variantes de transfert en fonction des types de canalisation et des rugosités intérieures.

Tableau N° 58 : Coût d'investissement des variantes de transfert - Sans réducteur de pression.

Type de canalisation	Pression nominale (Bar)	Prix unitaire TTC (DA)	Longueur de canalisation (m)	Montant total (DA)
<b>BPAT</b>	10	29 309,7	1 180,00	34 585 446
	12	30 851,59	2 216,61	68 385 942,91
	14	33 563,95	7 466,81	250 615 637,5
	<b>Total général</b>			353 587 026
<b>Fonte ductile</b>	10	18 939,09	1 180,00	22 348 126,2
	12	22 310,36	2 216,61	49 453 367,08
	14	25 681,63	7 466,81	191 759 851,7
	<b>Total général</b>			263 561 345
<b>PRV</b>	10	17 341,48	1 180,00	20 462 946,4
	12	22 495,64	2 216,61	49 864 060,58
	14	25 962,47	7 466,81	193 856 830,6
	<b>Total général</b>			264 183 838
<b>Béton</b>	10	7 437,5	1 180,00	8 776 250
	12	8 508,5	2 216,61	18 860 026,19
	14	9 579,5	7 466,81	71 528 306,4
	<b>Total général</b>			99 164 582,6
<b>Acier</b>	-	22 154,58	10 863,42	240 674 507

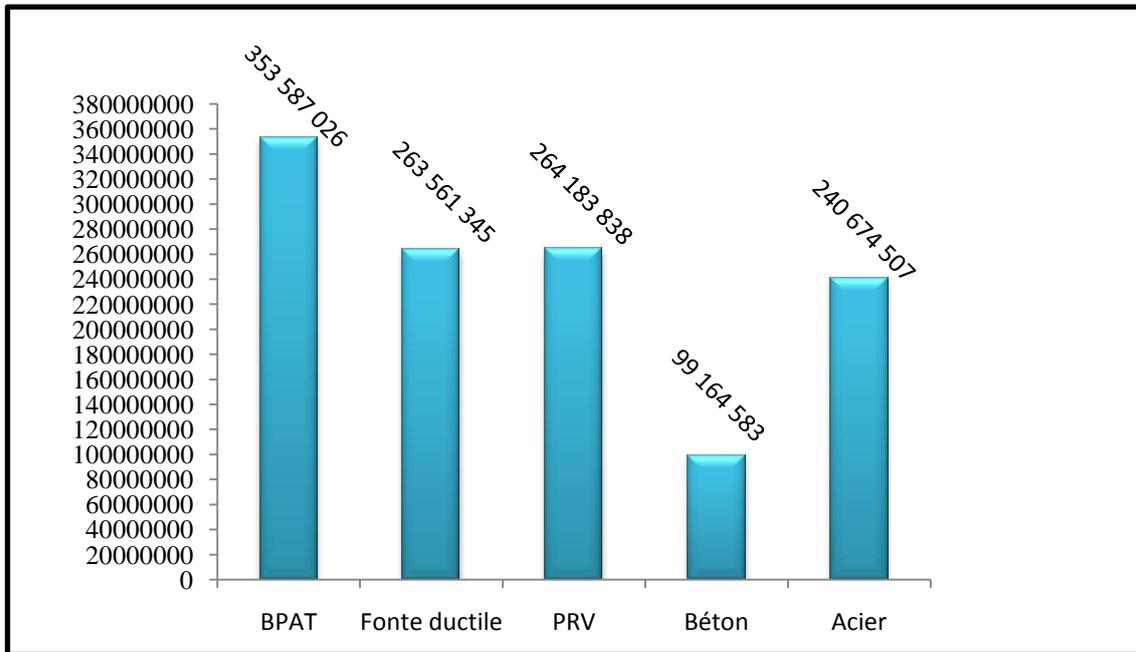


Figure N°67 : Coûts des différentes variantes de canalisations du transfert - sans réducteur de pression.

Tableau N° 59: Coût d'investissement des variantes de transfert - Réducteur de pression amont

Type de canalisation	Rugosité	Pression nominale (Bar)	Prix unitaire TTC (DA)	Longueur de canalisation (m)	Montant total (DA)
BPAT	0,5	10	29 309,7	2 860,00	83 825 742
		12	30 851,59	8 003,42	246 918 232,4
		<b>Total général</b>			
Fonte ductile	0,1	10	18 939,09	4 540,00	85 983 468,6
		12	22 310,36	6 323,42	141 100 087
		<b>Total général</b>			
	0,5	10	18 939,09	2 860,00	54 165 797,4
		12	22 310,36	8 003,42	178 559 181,4
		<b>Total général</b>			
PRV	0,029	10	17 341,48	6 750,00	117 054 990
		12	22 495,64	3 573,72	80 386 369,89
		<b>Total général</b>			
Béton	0,1	10	7 437,5	4 540,00	33 766 250
		12	8 508,5	6 323,42	53 802 819,07
		<b>Total général</b>			
	0,25	10	7 437,5	2 300,00	17 106 250
		12	8 508,5	8 026,81	68 296 112,89
		<b>Total général</b>			
Acier	-	-	22 154,58	10 863,42	24 067 4507,5

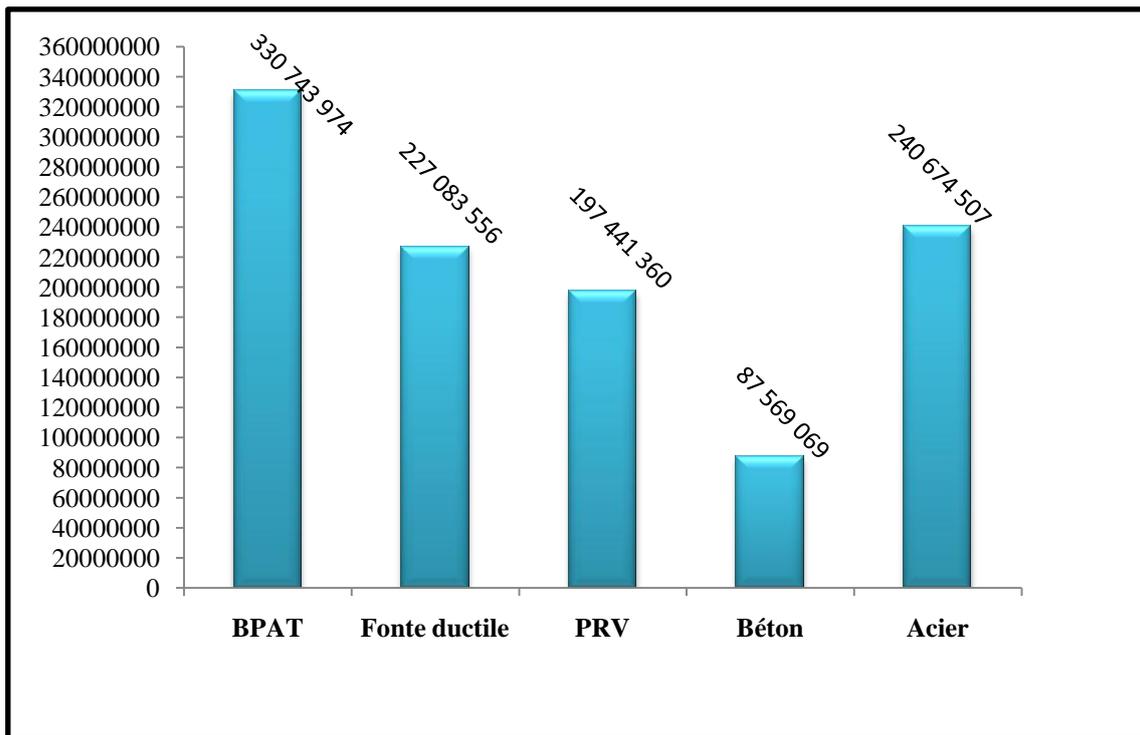


Figure N°68 : Coût des différentes variantes de canalisations du transfert - réducteur de pression amont  
Plage inférieure de la rugosité.

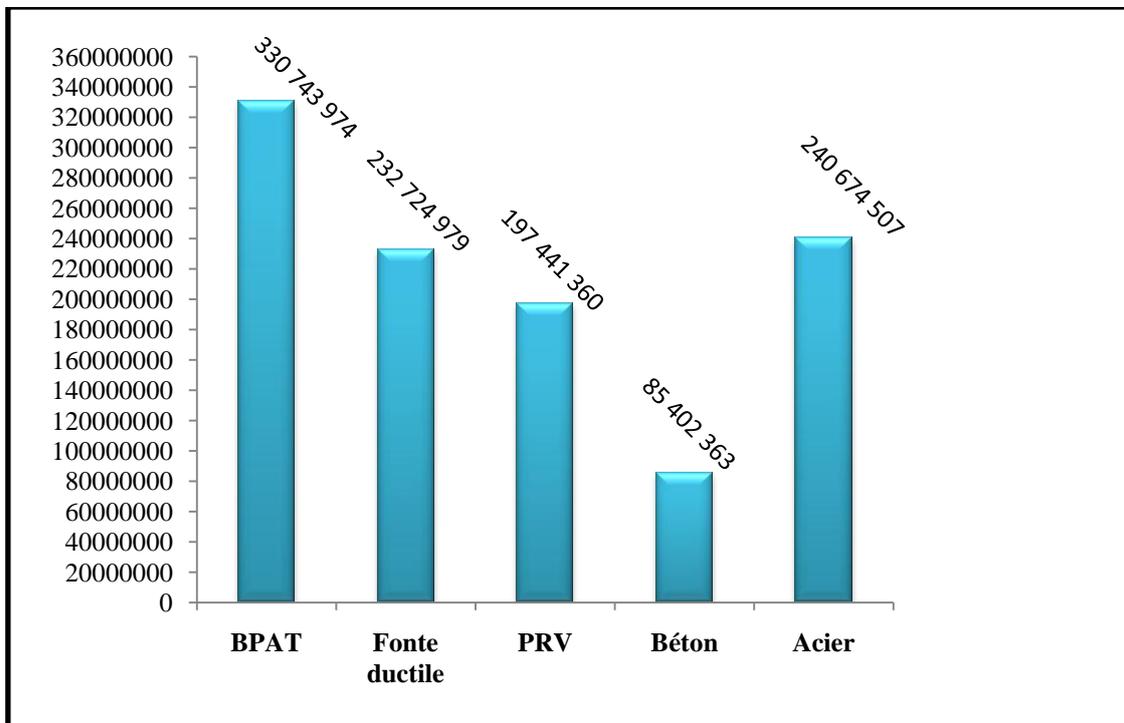


Figure N°69 : Coûts des différentes variantes de canalisations du transfert - réducteur de pression amont  
Plage supérieure de la rugosité.

Tableau N°60 : Coût d'investissement des variantes de transfert - Réducteur de pression aval

Type de canalisation	Pression nominale (Bar)	Prix unitaire TTC (DA)	Longueur de canalisation (m)	Montant total (DA)
<b>BPAT</b>	10	29 309,7	2 593,72	76 021 155,08
	12	30 851,59	2 216,61	68 385 942,91
	14	33 563,95	6 053,09	203 165 610,1
	<b>Total général</b>			347 572 708,1
<b>Fonte ductile</b>	10	18 939,09	2 593,72	49 122 696,51
	12	22 310,36	2 216,61	49 453 367,08
	14	25 681,63	6 053,09	155 453 217,7
	<b>Total général</b>			254 029 281,3
<b>PRV</b>	10	17 341,48	2 593,72	44 978 943,51
	12	22 495,64	2 216,61	49 864 060,58
	14	25 962,47	6 053,09	157 153 167,5
	<b>Total général</b>			251 996 171,6
<b>Béton</b>	10	7 437,5	2 593,72	19 290 792,5
	12	8 508,5	2 216,61	18 860 026,19
	14	9 579,5	6 053,09	57 985 575,66
	<b>Total général</b>			96 136 394,34
<b>Acier</b>	-	22 154,58	10 863,42	240 674 507,5

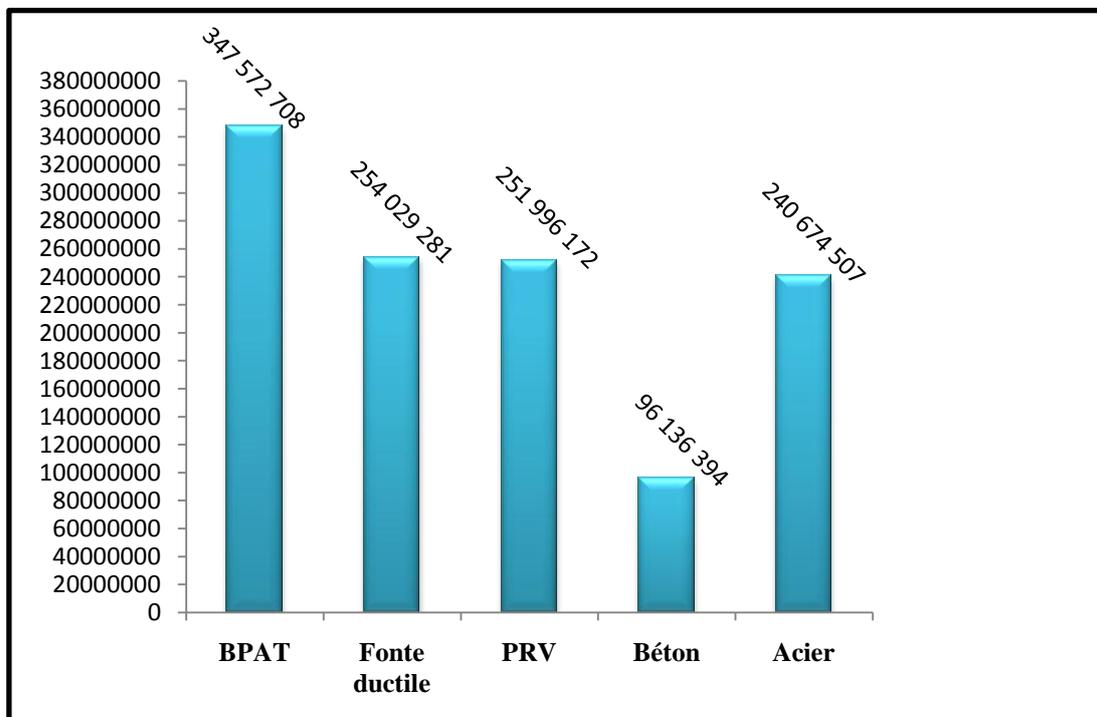


Figure N°70 : Coût des différentes variantes de canalisations du transfert - réducteur de pression aval

## CONCLUSION

Ce chapitre a été consacré aux calculs et au dimensionnement hydraulique des transferts en fonction des débits à transférer, des types de canalisation à projeter, de leur état de vétusté en exploitation et de la conjugaison du couple pressions nominales - longueurs des tronçons. pour permettre le choix définitif du type de canalisation de transfert.

Les différents calculs hydrauliques élaborés ont permis de dresser les profils piézométriques pour les différentes variantes de transferts en fonction du type des canalisations de transfert et des dispositions de réduction des pressions.

Il est à signaler que la projection de réducteurs de pression a été conditionnée par la pression d'entrée exigée à la station SAA.

L'analyse des profils piézométriques élaborée en fonction de l'emplacement des réducteurs de pression a permis de synthétiser le couple pressions nominales - longueurs des canalisations. Cet aspect a été utilisé pour une analyse économique comparative entre les variantes de transfert étudiées en fonction particulièrement des pressions nominales enregistrées sur les profils piézométriques et de leurs longueurs respectives.

## **Conclusion générale**

Le transfert, à partir du barrage Douera, pour l'alimentation de la zone ouest d'Alger doit être raccordé au niveau de la station de traitement SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger. Ce raccordement, selon le cahier de prescription technique, doit s'opérer au niveau des bassins de coagulation - floculation avec une pression ne dépassant pas 1 bar pour éviter la perturbation du processus de traitement à ce niveau.

Afin d'assurer une pression d'entrée à la station SAA,  $P \leq 1$  bars, il a été proposé de réguler la pression du transfert pour cet objectif avec, soit, réduction de pression amont (sortie barrage) ou réduction de pression aval (entrée station SAA).

La prise en charge d'une pression d'entrée à la station SAA  $P = 0.7$  bars et l'évaluation des pertes de charge depuis la station SAA jusqu'à l'amont du transfert, ont débouché sur l'implantation des réducteurs de pression amont et/ou aval.

L'ensemble des calculs et dimensionnement hydrauliques élaborés ont permis de dresser les profils piézométriques des transferts avec déduction des diverses pressions nominales conjuguées aux longueurs des tronçons correspondant.

Afin de porter un jugement sur l'influence des réducteurs de pression sur les pressions conjuguées aux longueurs des tronçons, et pour chaque variante, il a été considéré le couple pressions enregistrées - longueurs des tronçons correspondants.

Ces paramètres ont été utilisées pour une analyse comparative économique entre les variantes suscitées en tenant compte des tranches de pressions combinées aux longueurs des canalisations.

En occultant l'aspect lié à l'agressivité des sols traversés par les variantes de transfert et conditionnant un choix spécifique des canalisations, les différents calculs hydrauliques élaborés et l'analyse économique comparative permettent de synthétiser les conclusions fondamentales ci-dessous:

### **Cas d'absence de réduction de pressions**

La variante la plus compétitive économiquement pour ce cas de figure est un transfert avec une canalisation en béton. Le type de canalisation se positionnant en second rang est une canalisation en acier. Toutefois, les coûts d'installation d'une protection cathodique et ses frais d'exploitation et d'entretien doivent être évalués afin de juger de la validité de sa compétitivité

économique. Des transferts en canalisation en PRV ou Fonte ductile possèdent pratiquement les mêmes coûts d'investissement au environ de 264 Millions de Dinars.

Le transfert en canalisation en BPAT est la variante la plus onéreuse avec un coût approximatif d'environ 354 Millions de Dinars.

### **Cas de réduction amont de pressions**

Pour cette variante de réduction des pressions, une diminution considérable des couts d'investissement est enregistré. Un écart d'investissement s'est creusé entre la variante canalisation en PRV et la variante canalisation en fonte ductile.

Un gain financier d'environ 28 millions de Dinars est enregistré sur le transfert en PRV par rapport à celui en fonte ductile.

Il est à signaler que la rugosité des canalisation influe peu sur les coûts d'investissement des transferts.

### **Cas de réduction aval de pressions**

Pour le sac de réduction de pression aval, les coûts d'investissement sont plus élevés que la variante réducteur de pression amont. Les incréments sur les coûts sont respectivement:

- 17 millions DA pour la canalisation en BPAT, 21 millions DA pour la canalisation en fonte, 54 millions DA pour la canalisation en PRV, 17 millions DA pour la canalisation en BPAT, 11 millions DA pour la canalisation en béton.

En finalité, et tenant compte des critères économiques, la variante de transfert en PRV semble être la plus plausible si on considère l'aspect lié à l'exploitation et entretien des canalisations en acier et l'aspect négatif d'un transfert en canalisation en béton sur la sécurité sanitaire.

Finalement, il est important de souligner que le travail élaboré dans le cadre de ce mémoire été d'un intérêt capital pour un complément de formation sur l'aspect pratique lié au dimensionnement des transferts d'eau.

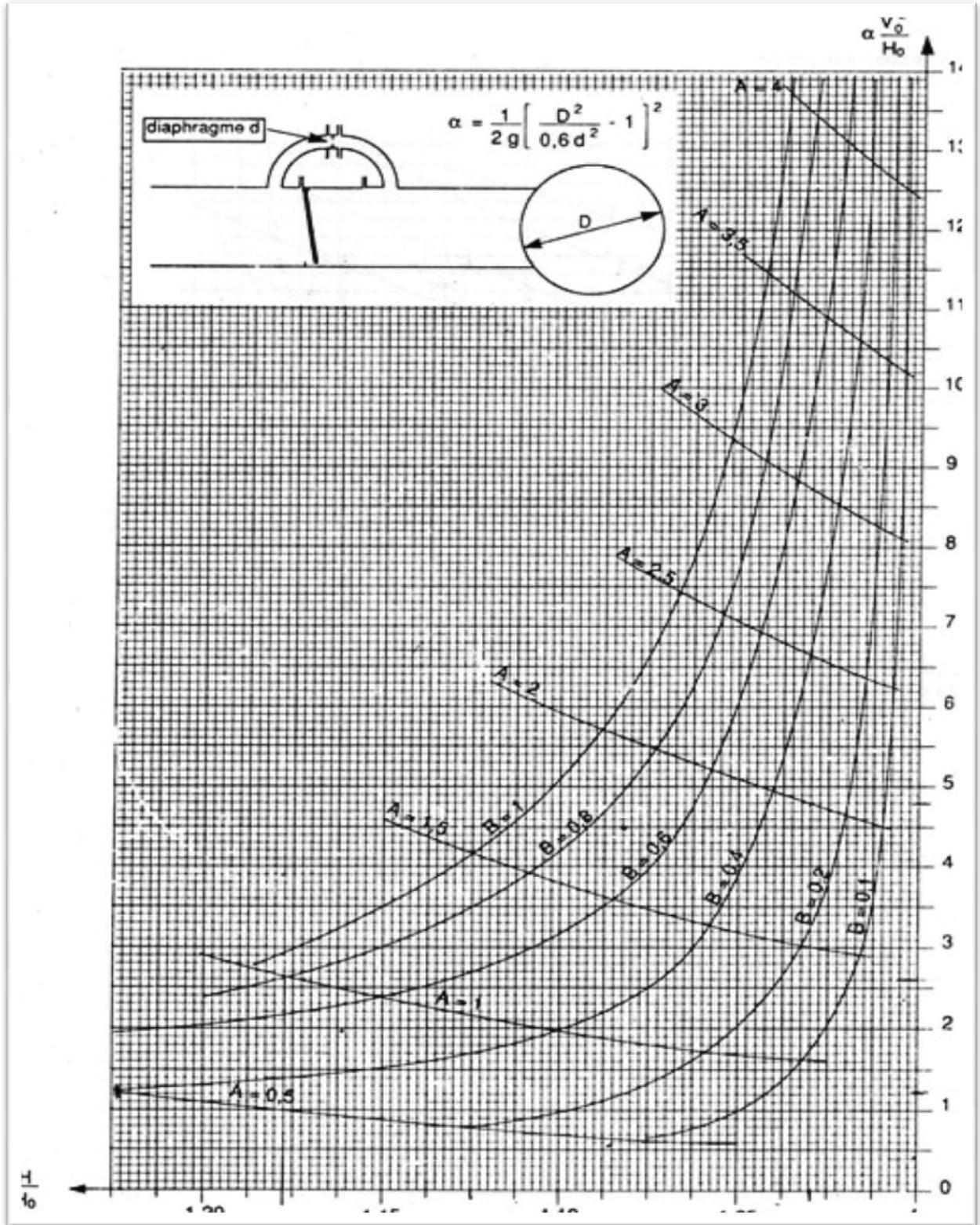
## Bibliographie

- [1] Dupont A, 1979. Hydraulique urbaine tome 2: Ouvrage de transport - Elévation et distribution des eaux, Edition Eyrolles.
- [2] [http://www.spread.fr/uploads/produits/1\\_brochure\\_spread\\_tube\\_acier\\_revetu\\_1.pdf](http://www.spread.fr/uploads/produits/1_brochure_spread_tube_acier_revetu_1.pdf)
- [3] Saint Gobain, 2006, Tuyaux pour adduction d'eau potable (Fonte ductile, Pe, PVC-U)
- [4] Electrosteel, France, Manuel de pose, Recommandations Manutention et stockage.
- [5] Amitech SPA, Algérie, Système de canalisation en polyester renforcée de fibre de verre.
- [6] Cahier des prescriptions techniques, 2010. Tubes PEHD en AEP
- [7] Catalogue technique de groupe CHIALI, 2010. Tube en polyéthylène PE.
- [8] DENIPA, 2012-2013. Direction nationale de l'eau potable et l'assainissement. République d'Haiti.
- [9] [www.str-pvc.org](http://www.str-pvc.org)
- [10] GODART.H, 2008. Adduction et distribution d'eau
- [11] Tarfaya.C ,2012. Approche méthodologique pour le diagnostic des réseaux d'eau, Thèse magister ,Université HADJ LAKHDAR BATNA.
- [12] Onema, ASTEE, 2014. Réduction des pertes d'eau des réseaux de distribution d'eau potable.
- [13] Guide des applications, 2008. WATTS. Réducteurs de pression d'eau.
- [14] BELAIB. A. Modélisation hydraulique d'un système de transfert d'eau potable – cas du transfert du couloir Chlef-Tnes- El Ghelta- a partir du barrage de sidi Yacoub.Thèse de magister. Chlef. Université Hassiba Benbouali de chlef.
- [15] BTS électrotechnique 1ère année. Sciences physiques appliquées. Dimensionnement d'une pompe. Lycée Admond Labbé
- [16] [www.CHP.com](http://www.CHP.com)
- [17] Wilo, 2006. Principes fondamentaux de la technologie des pompes
- [18] BEDJAOUI A., ACHOUR B., BOUZIANE. M.T, 2005. Nouvelle approche pour le calcul du diamètre économique dans les conduites de refoulements. Biskra. Université Mohamed Khider – Biskra. Courrier du savoir N°06. pp.141-145

- [19]BENSAADA.W., BENOUNA.I, 2014. Alimentation en eau potable des centres de Ouled Mimoun Sidi Abdeli et Sidi Senouci à partir du brise de charge BC3 conduite Beni Bahdel-Oran. Tlemcen. Thèse de Master. Université de Tlemcen.
- [20]VAZQUEZ.J ,2014.Hydraulique général, Ecole nationale de génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg
- [21]Dupont A, 1971. Hydraulique urbaine tome 1, hydrologie, captage et traitement des eaux, Edition, Eyrolles.
- [22]AHS. Agence de bassin ALGEROIS - HODNA - SOUMMAM, Carnet N°1 MAI 2002
- [23]SEAAL, Société des eaux et de l'assainissement d'Alger, 2008.
- [24] APD, Avant projet détaillé du transfert, National eau et environnement.
- [25][www.bg-21.com/fr/content/realisation-du-barrage-de-douera-algerie](http://www.bg-21.com/fr/content/realisation-du-barrage-de-douera-algerie)
- [26] [www.fao.org/nr/water/aquastat/sirte2008/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/sirte2008/index.stm)

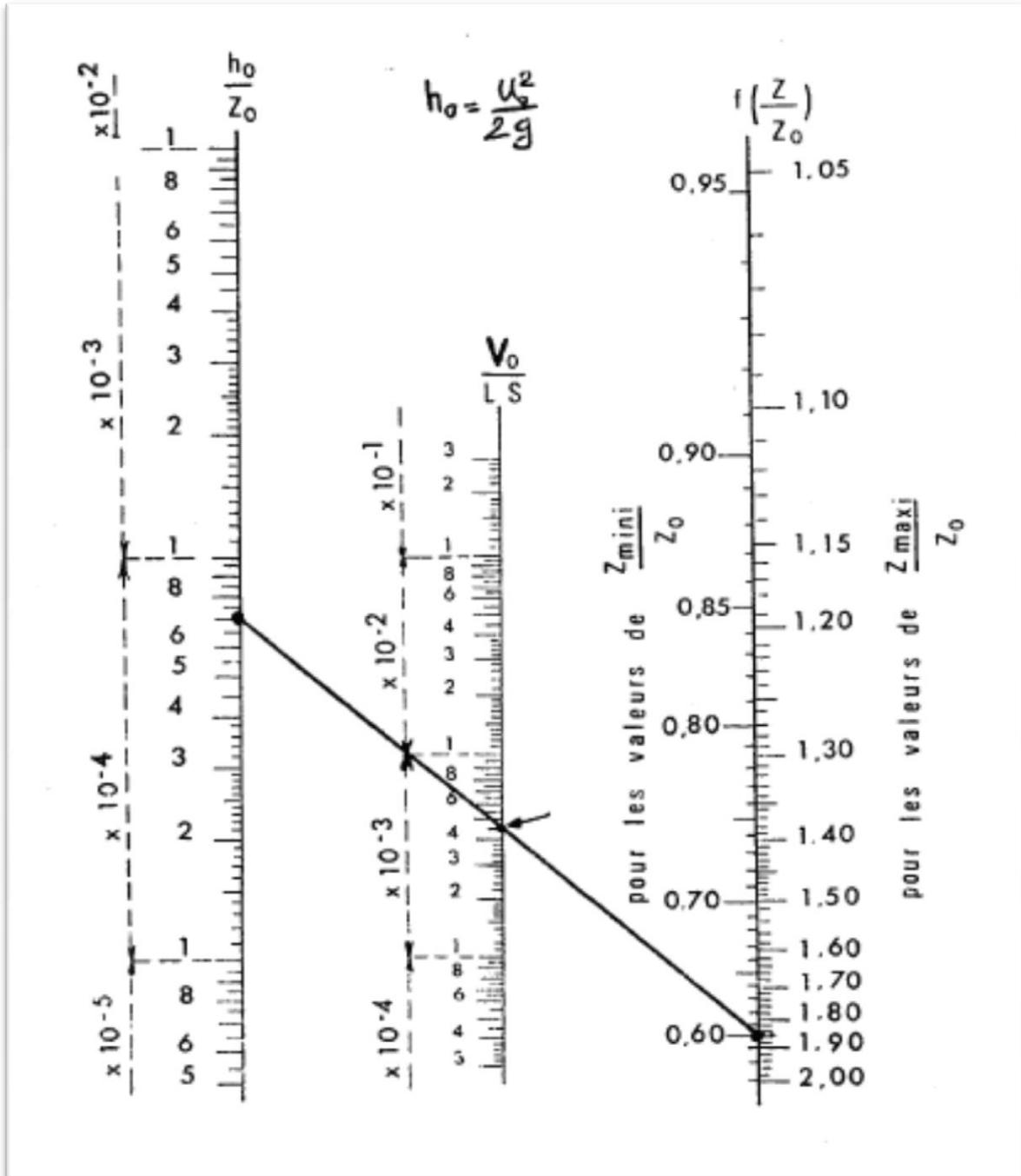
# LISTES DES ANNEXES

## ANNEXE N°1



Abaque de DUBIN et GUENEAU

ANNEXE N°2



Détermination des paramètres relatifs à la protection anti béliet par réservoir d'air.

## Résumé

La population de la ville d'Alger comptait 2 562 373 habitants en 2002. Tenant compte du taux d'accroissement, cette population atteindra 3 680 823 habitants en 2020. Les besoins en eau à l'horizon 2020 pour les différents secteurs seront de 590,5 Hm<sup>3</sup>. La zone ouest regroupant les communes de douera, Baba Hassen, Draria, El Achour, Ouled Fayet, Dely Brahim, Beni Messous et Bouzerréah connaît, relativement aux autres zones, des déficits importants en terme d'approvisionnement en eau potable. La conduite de transfert d'AEP projetée dans le cadre de l'utilisation du barrage de DOUERA permettra de renforcer l'approvisionnement en eau potable des zones à l'ouest de l'agglomération d'Alger. Le raccordement de ce transfert s'opérera au niveau de la station de traitement existante SAA du système de sécurisation de l'AEP d'Alger (Tassala, Merdja) où la pression d'entrée est limitée à 1 bar. Le projet initial dans le cadre de son avant projet détaillé APD stipulait un transfert gravitaire depuis le barrage Douera jusqu'au piquage au niveau de la station SAA. Le niveau d'eau considéré pour la conception du transfert dans le barrage est le niveau 103 m NGA. La conduite projetée initialement est du type BPAT de diamètre intérieur 800 mm.

Les pressions nominales arrêtées pour la conduite de transfert ne permettent nullement de répondre aux exigences des pressions du profil piézométrique dans la mesure où le niveau de la retenue normale dans le barrage est de 138 au lieu de 103 m NGA.

Le présent travail cible la reprise des critères de conception du transfert en considérant plusieurs variantes de choix du type des canalisations avec installation de réducteurs de pressions à différents niveaux. Les profils piézométriques des variantes étudiées, le couplage des pressions enregistrées avec les longueurs des tronçons correspondants ont permis en finalité de dresser une analyse économique comparative entre les variantes pour le choix de la variante la plus rationnelle sur le plan technique et économique.

**Mots clés:** Barrage, Douéra, zone Ouest d'Alger, transfert, réducteur de pression, analyse économique.

## Abstract

The population of the town of Algiers had 2,562,373 inhabitants in 2002. Taking into account the rate of increase, this population will reach 3,680,823 in 2020. The water requirements for 2020 for the various sectors will be 590 , 5 Hm<sup>3</sup>. The western zone of the communes of Douera, Baba Hassen, Draria, El Achour, Ouled Fayet, Dely Brahim, Beni Messous and Bouzerréah, has other important areas in terms of drinking water supply. The planned transfer of DWS through the DOUERA dam will strengthen the supply of drinking water to areas west of the Algiers conurbation. The transfer will be carried out at the existing SAA treatment plant in the Algerian security system (Tassala, Merdja) where the inlet pressure is limited to 1 bar. The initial project as part of its detailed preliminary design APD stipulated a gravity transfer from the Douera Dam to the Pier at the SAA station. The water level considered for the transfer design in the dam is the 103 m NGA level. The originally designed pipe is of the BPAT type with an internal diameter of 800 mm.

The nominal pressures stopped for the transfer line do not allow to meet the requirements of the pressures of the piezometric profile insofar as the level of the normal restraint in the dam is 138 instead of 103 m NGA.

The aim of this work is to take up the design criteria of the transfer by considering several variants of choice of pipe type with installation of pressure reducers at different levels. The piezometric profiles of the variants studied, the coupling of the pressures recorded with the lengths of the corresponding sections, made it possible finally to draw up a comparative economic analysis between the variants for the choice of the most rational variant from the technical and economic point of view.

**Keywords:** Dam, Douera, West zone of Algiers, transfer, pressure reducer, economic analysis

## ملخص

يبلغ عدد سكان مدينة الجزائر العاصمة 2562373 نسمة في عام 2002. بالأخذ بعين الاعتبار معدل النمو، سيصل عدد السكان إلى 3 680 823 في عام 2020. إن الاحتياجات لعام 2020 لمختلف القطاعات سيكون 590.5 مليون متر مكعب. المنطقة الغربية 3 680 823 تغطي كل من بلدية دويرة، بابا حسن، الدرارية، العاشور، أولاد فايت، دالي إبراهيم، بني مسوس و بوزريعة التي تعرف بالنسبة إلى مناطق أخرى عجزا كبيرة من حيث إمدادات مياه الشرب. إن خط نقل مياه الشرب من خلال سد دويرا سيعزز إمدادات مياه الشرب للمناطق الغربية للجزائر العاصمة. ربط هذا التحويل تم في محطة معالجة المياه الموجودة اساسا حيث الضغط في مدخل المحطة لا يتجاوز 1 بار. إن المشروع الاولي ينص على ان هذا التحويل الجاذبي من سد الدويرا الى المحطة سيتم من خلال المستوى 103 الانابيب المستخدمة من الخرسانة قطر ها الداخلي 800 مم. إن معدلات الضغط التي أنشئت بها أنابيب النقل لاتسمح لتلبية متطلبات المستويات البييزومترية لذى عوضنا 103 م ب 138 م.

الهدف من هذا العمل هو استئناف المشروع اخذين بعين الاعتبار عدة أنواع من الأنابيب مع تركيب مخفضات مستويات الضغط مم يسمح لنا بإنشاء تحليل اقتصادي مقارن لاختيار الحل الأمثل تقنيا و اقتصاديا.

**كلمات المفتاحية:** السد، دويرا، منطقة الغربية للجزائر العاصمة، نقل، مخفضات مستويات الضغط، التحليل الاقتصادي