

Institut des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences et Technologie

POLYCOPIE DE COURS

Gestion des Ressources Hydriques

Support pédagogique destiné aux étudiants de la
3^{ème} année Licence Hydraulique

Réalisé par : Dr BERHAIL Sabri

PREAMBULE

La gestion des ressources en eau est l'activité qui consiste à planifier, développer, distribuer et gérer l'utilisation optimale des ressources en eau comme le souligne un expert : « il existe aujourd'hui une crise de l'eau, mais cette crise n'est pas due à son insuffisance à satisfaire nos besoins ; elle résulte plutôt d'une si mauvaise gestion de cette ressource que des milliards de personnes et l'environnement en souffrent gravement» (Burton. J, 2001).

Ce polycopié représente le contenu du module « Gestion des ressources hydriques » assuré en semestre 6 aux étudiants de la promotion 3ème année licence hydraulique. Il vise à comprendre les types de ressources en eau en Algérie leur capacité et les stratégies de gestion possibles pour une meilleur utilisation.

Le polycopié est scindé en cinq chapitres conformément au programme officiel :

Le premier chapitre vise à donner aux étudiants les vrais problèmes que connaît l'Algérie en matière de l'eau, pour proposer ensuite des solutions à la quantification, au stockage, à la protection et à la préservation des ressources en eau.

Le deuxième chapitre définit le principe de gestion et exploitation des ouvrages hydrauliques, ainsi que la planification de l'entretien et du contrôle des différents ouvrages du réseau d'assainissement. Il permet de répondre à la question : quelle partie du réseau est contrôlée ou entretenue quand et avec quelle fréquence.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les critères possibles pour évaluer l'état d'un réseau d'eau, suivi d'un panorama des différents détecteurs de fuites actuellement utilisés.

Le quatrième chapitre sera consacré à expliciter les différentes méthodes de contrôle de la pollution de l'eau potable en citant les différentes sources qui la causent ainsi que les différents paramètres de potabilité et de rejets.

Dans le dernier chapitre nous nous intéressons à la présentation des différentes méthodes existantes pour réaliser un diagnostic du réseau d'assainissement existant, et les procédés de réhabilitation sans tranchée qui, s'ils ne sont pas tout à fait novateurs, améliorent les techniques antérieures.

Il est possible que cette première version comporte quelques imperfections, je serais reconnaissant à tous ceux qui me feraient part de leurs remarques et suggestions.

TABLE DES MATIERES

PREAMBULE.....	1
TABLE DES MATIERES.....	2

CHAPITRE 01 : GENERALITES SUR LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE

1. Introduction.....	6
2. Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie.....	6
2.1. Envasement des barrages en Algérie.....	6
2.2. Evaporation des lacs de barrages.....	7
2.3. Fuites dans les barrages.....	7
2.4. Eutrophisation des retenues de barrages.....	8
2.5. Intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers.....	8
3. Problématique de l'eau liée au changement climatique.....	9
3.1. Le Changement climatique : facteur aggravant.....	9
3.2. Les impacts sur les écoulements de surface.....	9
3.3. Les impacts sur les eaux de barrages.....	9
3.4. Les impacts sur les nappes phréatiques.....	10
3.5. Incidence du changement climatique sur l'irrigation.....	10
3.6. Incidence du changement climatique sur l'assainissement.....	10
3.7. Les risques d'inondations.....	11
4. Stratégie pour augmenter le stockage de l'eau.....	11
4.1. Entretien des barrages actuels et lutte contre l'envasement.....	12
4.2. Réalisation des barrages de décantations.....	12
4.3. Dragage des barrages.....	12
4.4. La réalisation de nouveaux barrages en Algérie.....	13
4.5. Utilisation de la recharge artificielle des nappes.....	13
4.6. Recyclage et réutilisation des eaux usées.....	13
4.7. Dessalement de l'eau de mer.....	14
4.8. La lutte contre les fuites des différents réseaux.....	15
4.9. La lutte contre l'intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers.....	15

CHAPITRE 02 : PRINCIPE DE GESTION ET EXPLOITATION DES SYSTEMES HYDRAULIQUES

1. Introduction.....	16
2. Définition de la gestion.....	16
3. Gestion des forages.....	16
3.1. Adaptation de la pompe au captage.....	16
3.2. La connaissance des paramètres patrimoniaux.....	16
3.3. Les équipements techniques.....	16
3.4. Vieillessement des forages.....	17
3.4.1. Phénomène de corrosion.....	17
3.4.2. Phénomène de colmatage.....	17

4. Gestion des ouvrages de stockage	17
4.1. Equipement du réservoir	18
4.2. Aspects liés à l'exploitation des réservoirs	18
4.2.1. Contrôle hebdomadaire	19
4.2.2. Contrôle semestriel	19
4.2.3. Nettoyage	19
5. La gestion et l'exploitation du réseau d'aep	19
5.1. Prévention, contrôle et surveillance de la qualité de l'eau	19
5.2. La lutte contre le vieillissement des conduites	19
5.3. La problématique des fuites.....	19
5.4. Causes des fuites.....	21
5.5 Les éléments influençant l'apparition des fuites.....	21
5.5.1. Les éléments propres à la canalisation.....	21
5.5.2. Les éléments extérieurs aux réseaux.....	22
5.5.3. Les éléments liés à l'exploitation des réseaux.....	23
6. La gestion informatisée des réseaux	24
6.1. Cartographie des réseaux.....	24
6.2. Cartographie des réseaux d'AEP à l'aide d'un SIG	25
7. L'exploitation du réseau d'assainissement.....	26
8. Directives techniques pour l'exploitation.....	26
8.1. Canalisations.....	26
8.1.1 Problèmes possibles.....	26
8.1.2 Tâches d'entretien et d'exploitation.....	26
8.1.3 Programme général d'exploitation.....	27
8.1.4 Contrôle visuel des collecteurs.....	27
8.1.5 Curage.....	28
8.1.6 Inspection par caméra.....	28
8.2. Regards de visite.....	28
8.2.1 Problèmes possibles.....	28
8.2.3 Intervalles.....	28
8.3. Déversoirs d'orage.....	28
8.3.1 Problèmes possibles.....	28
8.3.2 Problèmes possibles.....	29
8.3.3 Tâches d'entretien et d'exploitation.....	29
8.3.4 Intervalles.....	29
8.4. Points de rejets des réseaux d'eaux pluviales.....	29
8.4.1 Problèmes possibles.....	29
8.4.2 Tâches d'entretien et d'exploitation.....	29
8.4.3 Intervalles.....	30
8.5. Ouvrages de rétention et bassins d'eaux pluviales.....	30
8.5.1 Problèmes possibles.....	30
8.5.2 Tâches d'entretien et d'exploitation.....	30
8.5.3 Intervalles.....	30

8.6. Stations de pompage.....	31
8.6.1 Problèmes possibles.....	31
8.6.2 Tâches d'entretien et d'exploitation.....	31
8.6.3 Intervalles.....	31

CHAPITRE 03 : PARAMETRES HYDRAULIQUES DES ECOULEMENTS

1. Introduction	32
2. Fiabilité des réseaux.....	32
2.1. Indices de fiabilités hydrauliques.....	32
2.1.1. Indice de criticité hydraulique.....	32
2.1.2. Indice de déficience aux nœuds.....	32
2.2. Le rendement.....	32
2.2.1. Rendement primaire.....	33
2.2.2. Rendement net.....	33
2.2.3. L'indice linéaire de perte des réseaux d'eau potable.....	33
2.2.4. L'indice linéaire de perte primaire.....	33
2.2.5. L'indice linéaire de perte net.....	33
2.2.6. Indice linéaire de consommation.....	33
2.2.7. Indice linéaire de production.....	34
3. Méthodes et techniques de détection des fuites dans les réseaux d'eau potable	34
3.1. La technique du gaz traceur.....	34
3.2. La thermographie.....	34
3.3. Le géo radar.....	34
3.4. Méthode acoustique.....	35
3.5. Quantifications	35

CHAPITRE 04 : CONTOLE DE POLLUTION

1. Introduction	38
2. Types de contrôle de qualité de l'eau	38
2.1. Contrôle physico-chimique	38
2.2. Contrôle organoleptiques.....	40
2.3. Contrôle bactériologique.....	40
3. Les normes de potabilités	40
3.1. Normes algériennes du ministre des ressources en eau (depuis 22 mars 2011).....	40
3.2. Normes de l'OMS de qualité des eaux potables	42
3.3. Normes de l'Union européenne sur l'eau potable (depuis 3 novembre 1998).....	43
4. Normes de rejets dans un milieu récepteur.....	45
4.1. Normes de rejets internationales.....	45
4.2. Selon les normes européennes.....	45
4.3. Selon les Normes Algériennes.....	46
5. Textes règlementaires en rapport avec la protection des ressources hydriques en Algérie.....	47

CHAPITRE 05 : DIAGNOSTIC DES SYSTEMES HYDRAULIQUES (URBAINS)

1. Introduction	49
2. Etude du diagnostic.....	49
2.1. Définition du diagnostic en assainissement.....	49
2.2. Objectif de l'étude du diagnostic.....	49
3. Phases principales d'une étude de diagnostic.....	49
3.1. Recueil et exploitation de données.....	49
3.1.1. Données de Base.....	50
3.1.2. Données d'Orientation.....	50
3.1.3. Facteurs de dégradations.....	50
3.2. Le pré-diagnostic.....	50
3.3. Diagnostic et reconnaissance approfondie.....	51
3.4. Elaboration d'une stratégie de réhabilitation.....	51
4. Réhabilitation des réseaux et ouvrages hydrauliques	51
5. Techniques de réhabilitation	51
6. Réparation ponctuelle.....	52
6.1. Robot Multifonction.....	52
6.2. La Manchette ou le chemisage partiel	53
6.3. Etanchement par Injection.....	54
7. Réhabilitation continue.....	55
7.1. le chemisage continu.....	55
7.2. Le Fonçage.....	57
7.3. Le Forage Dirige.....	58
7.4. Le Tubage.....	61
8. Remplacement	62
8.1. L'éclatement.....	62
Conclusion.....	64
Références bibliographiques.....	65

CHAPITRE 01

GENERALITES SUR LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE

1. INTRODUCTION

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales. Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Nombre de villes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène.

Dans ce chapitre, nous examinons les principaux problèmes techniques qui affectent la quantité et la qualité des ressources en eau. Il s'agit de l'ensablement des barrages, l'évaporation des lacs de barrages, les fuites à travers les rives et les fondations des barrages, l'eutrophisation des eaux de barrages et l'intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers.

2. LES PRINCIPAUX PROBLEMES HYDRAULIQUES EN ALGERIE

La rareté grandissante des ressources en eau qui résulte de la diminution des quantités disponibles par habitant, la dégradation de la quantité et les objectifs de développement économique et social imposent donc l'élaboration et la définition d'une stratégie de gestion de l'eau à moyen et à long terme. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années de sécheresse qui ont touché l'ensemble du territoire, ont montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau. Cette ressource vitale est menacée dans sa qualité et dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025.

Parmi les principaux problèmes techniques qui affectent la quantité et la qualité des ressources en eau on peut citer les suivants :

2.1. Envasement des barrages en Algérie

En 2002, 52 grands barrages en Algérie ont reçu 32 millions de m³ de matériau solide annuellement. La répartition des barrages sur les cinq bassins hydrographiques indiquent clairement que les barrages de la région de Chéllif – Zahrez sont les barrages les plus menacés par le phénomène de l'ensablement, puisque le taux de sédimentation annuel est de 27 % (figure 1). Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants de la région, favorisé par la nature des sols et l'absence de boisement. Même pour les petits barrages, le taux de comblement évalué en 2002 dans le bassin hydrographique Chellif –Zahrez est de 16% de la capacité totale, il est beaucoup plus grand par rapport à celui des autres régions.

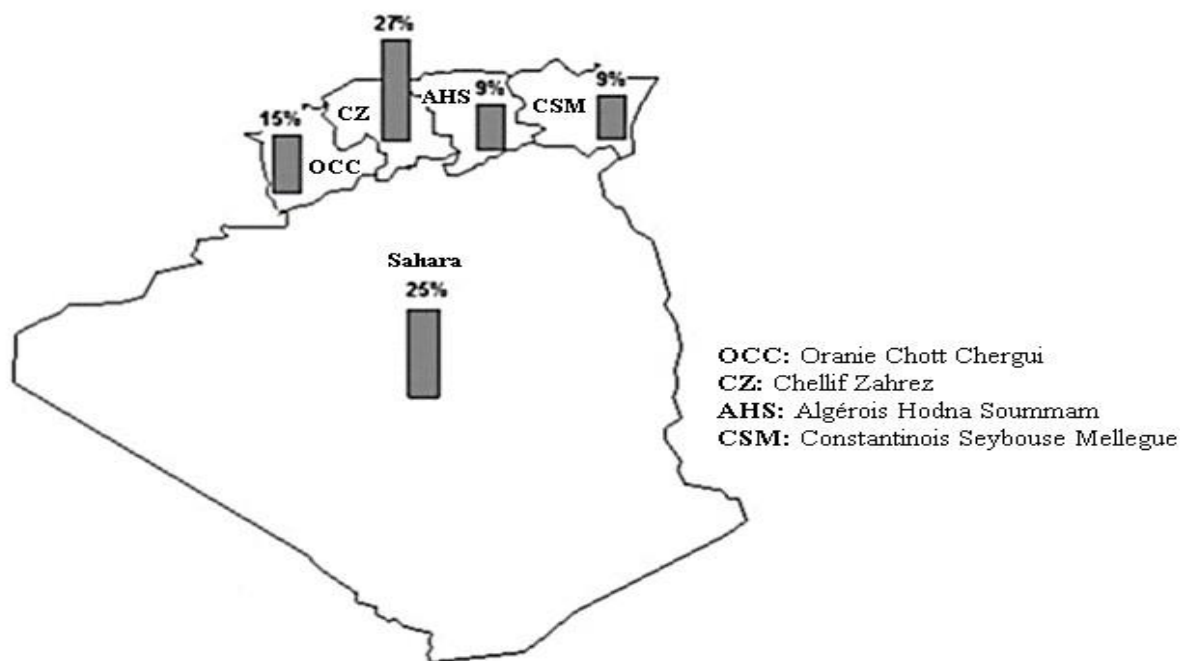


Figure 1. Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les cinq bassins hydrographiques.

2.2. Evaporation des lacs de barrages

Le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable ; une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages. La moyenne annuelle de l'évaporation est de 250 millions de m³, soit une perte moyenne annuelle de 6,5 % de la capacité totale.

2.3. Fuites dans les barrages

Le problème est beaucoup plus grave qu'on imagine, il ne s'agit plus de perte de la capacité de l'eau, mais plutôt la déstabilisation de l'ouvrage. En réalité l'eau des fuites ne se perd pas, il peut être récupérée et réutilisée pour l'agriculture et à la limite le laisser s'infiltrer pour réalimenter la nappe. A titre d'exemple, un réseau de collecte des fuites d'eau installé à l'aval du barrage de Foug El Gherza (Biskra) permet de récupérer en moyenne 5 millions de m³/an et de les utiliser pour l'irrigation. Cette irrigation forcée pose des problèmes de salinité des sols, puisque l'eau coule en continu. Mais le grand problème réside dans la circulation des eaux dans les failles de la roche dont la section mouillée augmentera dans le temps suite au changement de températures et les variations de la vitesse de l'écoulement (variation du plan d'eau) qui engendreront l'érosion de la roche et avec le temps c'est le glissement au niveau des berges et l'ouvrage sera en danger.

Environ 22 barrages ont fait l'objet des mesures périodiques des fuites en Algérie durant la période (1992-2002). Certains barrages enregistrent une perte annuelle par fuite avoisinant même la valeur de 10% de leur capacité. Le volume moyen perdu annuellement est de 40 millions de m³ d'eau. Ces mesures des débits de fuite sont effectuées par la méthode volumétrique. Les eaux perdues sont collectées à l'aide des réseaux de canaux depuis les résurgences et les sources de fuites jusqu'aux périmètres à irriguer.

2.4. Eutrophisation des retenues de barrages

Ces dernières années les rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués. En plus de ces rejets, le dépôt des sédiments dans les retenues de barrages génère l'eutrophisation des eaux de retenues. L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment) entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique et l'appauvrissement en oxygène dissous.

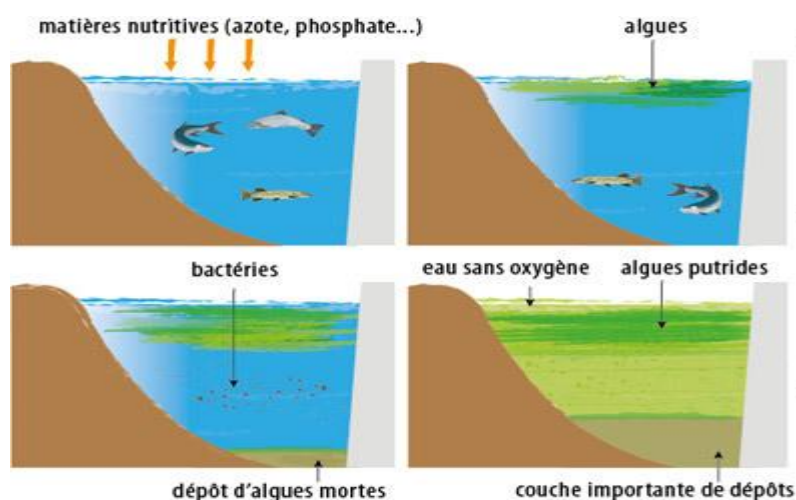


Figure 2. Phénomène d'eutrophisation

Le phosphore et l'azote sont des substances nutritives limitant le cycle de croissance de la végétation dans la retenue. Le phosphore est transporté en solution dans les retenues et se fixe aux sédiments. Une fois déposées dans la retenue, les sédiments libèrent le phosphore et contribuent au processus d'eutrophisation.

2.5. Intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers

En Algérie, le phénomène a pris de l'ampleur ces dernières années à cause de la sécheresse qui a frappé le nord algérien, associé aux pompages excessifs et anarchiques.

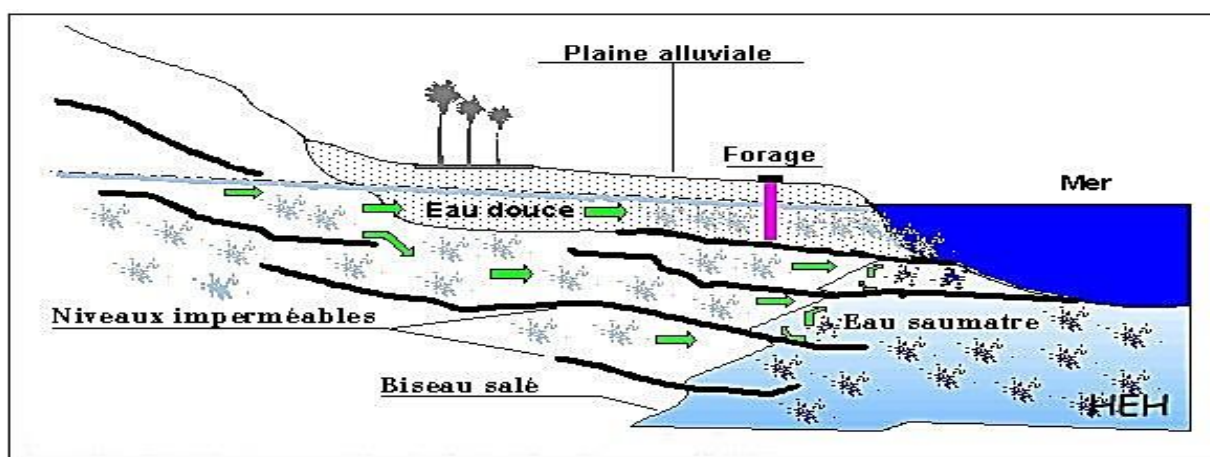


Figure 3. Intrusion des eaux marines dans les aquifères

Aujourd'hui, toutes les régions du littoral algérien (1200km) sont menacées par ce phénomène ; plusieurs lieux de contaminations des nappes ont été signalés le long du littoral.

3. PROBLEMATIQUE DE L'EAU LIEE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

3.1. Le Changement climatique : facteur aggravant

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20ème siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les trente dernières années, Les modèles de circulation générales convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2° à 4° durant le 21ème siècle.

Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord.

Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts significatifs, liés entre autres à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes. D'autres impacts sont étudiés : la perte de biodiversité et la dégradation d'écosystèmes, la hausse du risque de famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé.

3.2. Les impacts sur les écoulements de surface

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année 2001-2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays.

Tableau 1 : Apports par région hydrographique

	Apport (Hm ³ /an) Période globale	Apport (Hm ³ /an) Période sèche	Taux de réduction en %
Oranie Chott-Chergui	385	265	31
Cheliff- Zahrez	1650	1155	30
Algérois- Hodna- Soummam	4290	2634	39
Constantinois- Seybouse- Mellegue	4985	4137	17
Sahara	620	440	29
Total	11930	8631	28

Les estimations du potentiel hydrique pourraient être revues à la baisse à 17 milliards de m³/an avec 10 milliards de m³ des ressources superficielles dans la région Nord, soit une diminution de 11% par rapport au potentiel en eau estimé initialement à 19,4 milliards de m³.

3.3. Les impacts sur les eaux de barrages

Les changements affectant la retenue des eaux de surface sont dus à l'envasement et à la diminution du ruissellement.

- **L'envasement** : La nature et la morphologie des terrains en pente, la fragilité du couvert végétal, le manque de boisement et l'urbanisation en amont des barrages engendrent une forte érosion qui réduit la capacité de stockage des barrages de 2 à 3% chaque année, à cause de l'envasement dû au transport et au dépôt de sédiments par les eaux de pluie.
- **La diminution du ruissellement** : La contribution du ruissellement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants.

3.4. Les impacts sur les nappes phréatiques

La diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m.).

L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales. Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones.

Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, et d'Annaba.

3.5. Incidence du changement climatique sur l'irrigation

Les récentes fluctuations climatiques et les sécheresses, plus fréquentes au cours des trois dernières décennies, ont accentué le phénomène de dégradation des sols, engendrant ainsi la désertification des zones vulnérables comme les steppes et les hautes plaines. La tendance actuelle à des inondations plus intenses pourrait entraîner une érosion et une dégradation des sols plus importantes. Ces terres constituent de véritables potentiels agricoles et doivent assurer la sécurité alimentaire du pays ainsi que la protection de la frange côtière.

Les ressources en eau sont capitales pour la production alimentaire. Sur les 150 000 ha irrigables, 43 000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations notamment à l'Ouest du pays.

3.6 Incidence du changement climatique sur l'assainissement

Le changement climatique a des répercussions sur la santé publique, qui est la raison d'être des efforts réalisés en matière d'assainissement.

La facture des épidémies de MTH (maladie à transmission hydrique) est lourde pour l'Etat algérien. Le coût de ces épidémies a été évalué à l'équivalent du budget de construction de plus d'une dizaine de stations de traitement des eaux. Le principal facteur de ces maladies réside dans l'insuffisance des ressources hydriques conjuguée à l'absence de traitement de certains points d'eau.

3.7. Les risques d'inondations

S'appuyant sur des études scientifiques, les experts dans le domaine estiment que des pluies torrentielles et des orages comme ceux qui ont ravagé les régions de Bab El Oued, Ghardaïa ou Béchar seront de plus en plus fréquents. Il faut s'attendre à l'accentuation de ces phénomènes météorologiques, qui seront de plus en plus violents et dangereux.

4. STRATEGIE POUR AUGMENTER LE STOCKAGE DE L'EAU

Pour éviter de répercuter fatalement le déficit en eau, il faut mobiliser le maximum des ressources superficielles et souterraines, cherchant de nouvelles ressources, lutter contre les pertes et améliorer la qualité des eaux disponibles. C'est la qualité de l'eau qui est devenue un problème crucial, car depuis une trentaine d'années, cette qualité est menacée par les activités humaines. L'augmentation des besoins d'une région dans les trois grandes catégories (industrie, agriculture, particuliers) demande une planification innovatrice des ressources hydriques. Il est clair que l'Algérie enregistre d'un côté un manque énorme en ressources, au même moment où les besoins augmentent, et de l'autre côté le volume d'eau mobilisable est en diminution, et ceci est dû aux différents problèmes naturels ou humains qui touchent les sites susceptibles de capter les eaux. Partant de ce constat, nous proposons une série de suggestions dans le but de sauvegarder nos ressources mobilisées actuellement, tout en tentant de les augmenter au maximum, dans la mesure du possible, qui aura pour effet la baisse du déficit et le relèvement du taux de satisfaction.

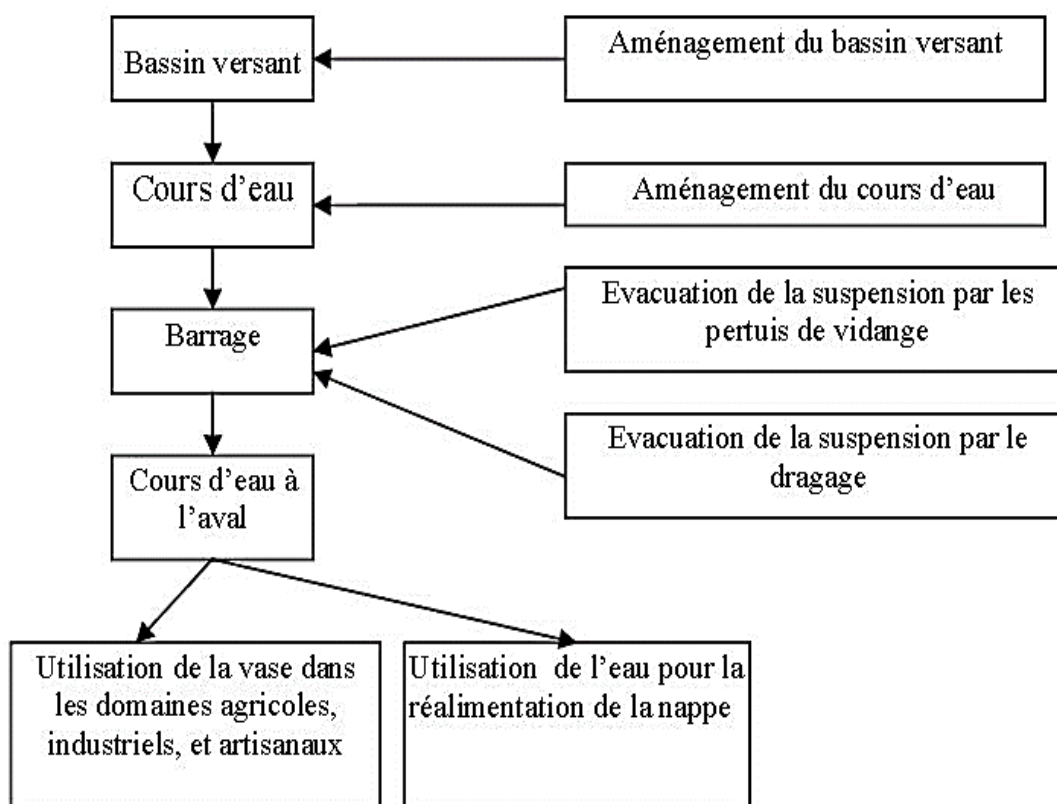


Figure 4. Moyens de lutte contre l'envasement des barrages

4.1. Entretien des barrages actuels et lutte contre l'envasement

Pour prolonger la durée de vie des grands barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services d'hydraulique. Les barrages s'ensavent, l'eau des retenues s'évapore et se perd par infiltrations à travers les berges et les fondations. En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. La rareté des sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages a poussé les services de l'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. Plusieurs méthodes (curatives et préventives) de lutte contre l'envasement ont été appliquées depuis les années trente. Dans ce qui suit, nous présentons les principaux moyens techniques de lutte contre l'envasement utilisés dans les différents bassins versants et barrages algériens.

4.2. Réalisation des barrages de décantations

La meilleure façon d'éviter l'envasement, c'est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage, cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont. La réalisation du barrage de Boughezoul (Alger) en amont de celui de Ghrib, bien qu'édifié essentiellement pour amortir les crues de oued Chellif, a permis de retenir depuis sa création un volume de près de $50 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de vase qui, sans elle, seraient venus s'ajouter aux $150 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ qui se sont déposés dans celle de Ghrib (en l'an 2000). Le barrage de Boughezoul a ainsi réduit l'envasement du Ghrib de près de 18 %.

4.3. Dragage des barrages

Malgré le coût onéreux de l'opération de dragage qui revient environ à celui de la réalisation d'un nouveau barrage, la technique de dragage devient indispensable pour les barrages dont la stabilité est en danger ou bien dans le cas où les sites pour la réalisation de nouveaux ouvrages deviennent rares. Suite à l'accélération de l'envasement du barrage de Fergoug III (Mascara), l'Algérie a acquis en 1989 une nouvelle drague suceuse refouleuse baptisée. La drague d'un poids total de 300 tonnes, est conçue pour refouler à une hauteur de 28 mètres, dans une conduite de 700 mm avec un débit maximum de mixture de 1600 l/s pour une profondeur de dragage de 3 à 16 m. Les résultats obtenus par cette drague sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats des travaux de la drague

Capacité initiale du barrage (1970)	$18 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Capacité avant dévasement	$3,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Volume de vase	$14,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Volume dévasé	$6,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Profondeur maximum de dévasement	$16 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Quantité d'eau utilisée	$7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Du fait de l'apport solide important, la retenue du barrage des Zardezas (Skikda) d'une capacité initiale de 31.10^6 m^3 s'est réduite à une capacité d'environ 13 millions de m^3 en 1993; soit un volume de vase d'environ 18.10^6 m^3 . En effet, pour des raisons de sécurité de l'ouvrage, il a fallu baisser le niveau de la retenue normale de 2 m en 1976 et en 1990 ; le volume régularisé qui était de 20.10^6 m^3 s'est trouvé réduit à environ 10.10^6 m^3 et cela s'est fait au détriment de l'approvisionnement de la population de Skikda. Le dragage de la retenue est devenu une nécessité. C'est durant l'été de 1993 que les opérations de dragage ont commencé par le dévasement de la partie qui se trouve près de l'ouvrage pour minimiser la poussée des sédiments.

4.4. La réalisation de nouveaux barrages en Algérie

Pour récupérer une partie des milliards de m^3 d'eau qui se déversent dans la mer, la prospection des meilleurs sites et la réalisation de nouveaux barrages en Algérie s'avèrent indispensables. Depuis une vingtaine d'années l'Algérie a entrepris de développer un programme ambitieux de construction de grands barrages. Durant les années quatre-vingt, 19 barrages d'une capacité totale de 2 milliards de m^3 ont été mis en exploitation à raison de 2 barrages en moyenne par année. Durant les années quatre-vingt-dix, 07 barrages d'une capacité totale de 650 millions de m^3 ont été réceptionnés. A ce jour notre pays dispose de 94 barrages répartis sur les 48 wilayas, en attendant la réalisation d'une dizaine d'autres d'ici 2019.

4.5. Utilisation de la recharge artificielle des nappes

Plusieurs problèmes hydrauliques peuvent être solutionnés, si on a recours à la recharge artificielle des nappes. La diminution dangereuse du niveau des nappes suite à la surexploitation de son eau a même provoqué plusieurs cas d'affaissement des routes dans les régions. Le pompage intensif des nappes a engendré l'intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers.

Il est temps de généraliser cette méthode de stockage d'eau en Algérie, surtout qu'elle ne demande pas assez de moyens matériels. Cependant, il faut d'abord faire une prospection des aquifères souterrains capables de stocker l'eau et de déterminer les endroits à la réalisation d'un tel ouvrage hydraulique. Il serait souhaitable dans le cas de la réalisation d'un barrage qu'il soit combiné avec la recharge artificielle des nappes. La réalimentation artificielle des nappes peut être une solution alternative aux milliards de m^3 qui se déversent encore dans la mer et qui ne peuvent pas être mobilisées à travers la réalisation des barrages.

4.6. Recyclage et réutilisation des eaux usées

Actuellement, l'eau usée traitée provenant des stations d'épuration existantes, lorsque celles-ci sont opérationnelles, est rejetée dans les oueds, mais dans les régions où les besoins en eau ne sont pas satisfaits. Il serait donc illogique de continuer de déverser l'eau traitée dans les oueds. Actuellement le parc d'installation d'épuration se compose de 166 stations. Etant donnée la situation critique que vit l'Algérie en matière de ressources en eau, nous sommes dans l'obligation de trouver des solutions rapides à ces stations, car, si dans un passé non lointain, la ressource en eau non conventionnelle en Algérie était évoquée très timidement, aujourd'hui elle devient une solution alternative aux ressources conventionnelles qui se font de plus en plus rares.

En considérant les rejets en milieu urbain, de l'ordre de 75% des débits consommés, les volumes d'eaux usées rejetées à travers les réseaux d'assainissement ont été évalués à 600 millions de m^3 en 2012.

Les prévisions de rejet d'eaux usées des agglomérations urbaines sont évaluées à près de 1300 millions de m³ en 2020. Les eaux recyclées des quatre régions en 2020 se répartissent comme suit :

Tableau 3 : Recyclage des eaux usées des 4 régions de l'Algérie du Nord en 2020

Régions Désignations	Oranie C. Chergui	Chélif Zahras	Algérois S. Hodna	Constantinois Sey. Mel	Total Algérie du Nord
Eaux usées épurées en (Mm ³ /an) Horizon 2020	90	90	230	140	550

4.7. Dessalement de l'eau de mer

Suite à la sécheresse de ces dernières années qui a provoqué un manque d'eau potable dans la majorité de communes, un programme d'urgence a été élaboré par le gouvernement pour palier au déficit des ressources en eau. Il s'agit de réaliser 21 stations de dessalement d'une production de 57500 m³/j réparties comme le montre la figure 5.

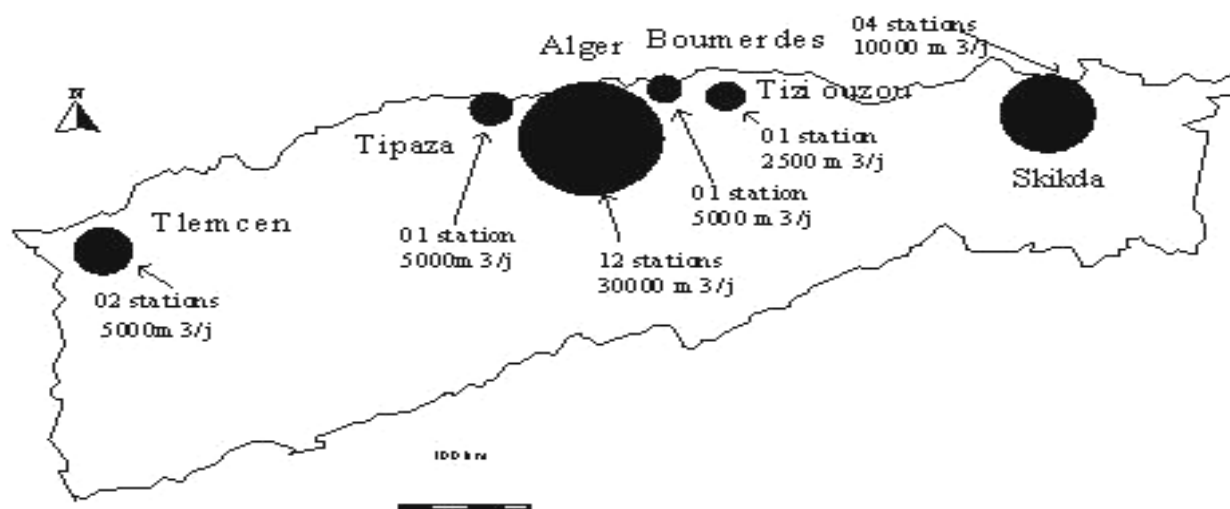


Figure 5. Répartition des stations de dessalement en Algérie.

Le dessalement des eaux de mer reste une solution sûre, vu la sécheresse qui sévit ces dernières années dans notre pays. Seulement, il serait préférable que les unités de dessalement destinées à l'alimentation en eau potable de la population fonctionnent uniquement durant les périodes de crises et d'une longue sécheresse.

4.8. La lutte contre les fuites des différents réseaux

La lutte contre les fuites des différents réseaux s'effectue par une distribution des quantités d'eau de la manière la plus juste et la plus équitable possible. La lutte à toute épreuve contre le gaspillage et les pertes d'eau par une meilleure gestion et exploitation du réseau et la réhabilitation des réseaux, dont les qualités techniques ne répondent pas aux normes exigées actuellement, en sachant que l'Algérie dispose d'un réseau d'AEP de 60 000 km avec un taux de fuite d'environ 42%, ce qui représente un volume de perte considérable.

4.9. La lutte contre l'intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers

Contrairement à certains auteurs qui disent que l'intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers est un phénomène irréversible, ce problème peut être solutionné. La recharge artificielle de la nappe contaminée s'avère une technique sûre et peut repousser le biseau salé. Aucune étude sérieuse n'a été faite en Algérie. On assiste ces vingt dernières années à une évolution spectaculaire des secteurs vulnérables à l'intrusion le long du littoral suite à la sécheresse, au pompage anarchique de la nappe et à l'extraction abusive du sable marin. Avant d'appliquer la recharge artificielle, il serait judicieux de tenir compte des recommandations suivantes :

- Arrêter immédiatement les forages et puits fortement contaminés
- Arrêter l'exploitation dans les secteurs vulnérables à l'intrusion
- Programmer des campagnes de mesure de la piézométrie pour suivre les fluctuations du niveau de la nappe
- Faire des analyses chimiques et géophysique pour suivre et localiser l'interface eau douce-eau salée
- Etudier et modéliser la propagation du biseau salé.

L'application de ces recommandations ralentit uniquement la propagation du biseau salé vers d'autres secteurs, il devient nécessaire de compléter ces recommandations par l'utilisation de la recharge artificielle de la nappe.

CHAPITRE 02

PRINCIPE DE GESTION ET EXPLOITATION DES SYSTEMES HYDRAULIQUES

1. INTRODUCTION :

La gestion d'un réseau de distribution et les moyens de production d'eau est un travail délicat qui nécessite des moyens d'interventions et de réparations appropriés ainsi qu'un personnel hautement qualifié, en effet l'eau livrée au consommateur doit être pure, potable, de bonne qualité et disponible à tout moment, car la vie en dépend.

2. DEFINITION DE LA GESTION :

La gestion est une politique permettant de gérer et d'effectuer des opérations permettant la conservation du matériel, et l'assurance de la continuité et la qualité de la production d'eau, telle que la maintenance des installations, l'entretien et la bonne exploitation des ouvrages et des équipements. Bien gérer c'est donc effectuer les opérations suscitées avec un minimum de charges possibles.

3. GESTION DES FORAGES :

Il y' a trois conditions essentielles pour gérer et exploiter correctement les forages :

3.1. Adaptation de la pompe au captage :

La pompe est un élément essentiel du captage, elle doit être dimensionnée en fonction de nombreux critères :

- La hauteur d'élévation totale.
- Le débit refoulé.
- La vitesse de rotation de la pompe.

3.2. La connaissance des paramètres patrimoniaux :

La connaissance des données patrimoniales est essentielle pour une bonne gestion, les paramètres d'exploitation de l'ouvrage doivent absolument être mis à la disposition des exploitants.

La base des données qui permet de disposer de l'ensemble des paramètres patrimoniaux regroupe notamment :

- La coupe technique de l'ouvrage.
- Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'eau.
- La position du niveau statique et niveau dynamique à différents débits.
- Le débit spécifique de l'ouvrage.
- Le débit maximum d'exploitation à ne pas dépasser.

Un exploitant ne peut pas gérer correctement ces ouvrages sans avoir connaissance de ces informations patrimoniales.

3.3. Les équipements techniques :

Il faut avoir les équipements suivants :

- Un compteur d'eau.
- Un compteur horaire par pompe.
- Un ampère mètre par pompe.
- Un voltmètre.
- Un manomètre.
- Un dispositif de protection des pompes contre le désamorçage.
- Une prise d'échantillon pour analyse.

3.4. Vieillessement des forages :

Le vieillissement des forages est un phénomène inéluctable qui s'accompagne de plusieurs effets:

3.4.1. Phénomène de corrosion :

La corrosion est un phénomène complexe attribuable aux causes suivantes :

- présence de l'eau corrosive à l'intérieur et à l'extérieur d'un puits.
- existence des bactéries sidérolites ou sulfatés ductiles.
- effets galvaniques entre les différentes parties d'un même ensemble métallique de composition différente au contact d'eau.

Pour lutter contre ce phénomène on procède comme suit :

A) Protection active :

Utilisation des effets électrochimiques (cathodique) qui a pour but de stopper ces phénomènes de corrosion qui sont directement liés à la corrosivité de sols et l'influence des courants électriques parasites.

B) Protection passive :

Couche de peinture et revêtement au tour du tuyau.

C) Protection anti –corrosion :

Deux possibilités existent pour la protection contre la corrosion intérieure dans les conduits métalliques :

- ✓ une protection contre la corrosion externe dépend de l'agressivité du sol.
- ✓ le traitement des eaux devant être transportées par conduites pour qu'elle ne soit pas corrosive, et qu'une couche de protection contre la rouille se forme sur les parois des conduites empêchant une corrosion ultérieurement.

3.4.2. Phénomène de colmatage :

- ✓ Colmatage mécanique.
- ✓ Colmatage chimique.
- ✓ Colmatage biologique.

4. GESTION DES OUVRAGES DE STOCKAGE :

Les réservoirs sont des ouvrages de stockage dont la durée de vie est généralement longue (50 ans minimum). Les problèmes d'exploitation où d'entretien peuvent concerner les réservoirs qui trouvent le plus souvent leur origine dans les insuffisances au niveau de la conception.

Donc il faut : prévenir la détérioration, améliorer et restaurer l'état de l'ouvrage pour éviter toute contamination des eaux stockée.

4.1. Equipement du réservoir :

Les équipements susceptibles d'être installés dans un réservoir et leurs fonctions sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 04 : les équipements d'un réservoir

Fonction	Equipements
Hydraulique	Clapet Equipement de trop plein Vidange Siphon pour réserve d'incendie Canalisation de liaison Compteur Clapet à rentre d'air Purgeur d'air
Exploitation	Niveau Poste de javellisation électrique Débitmètre Télécommande Equipement de télétransmission
Nettoyage	Trappes de visite pour les personnels et le matériel Equipements spéciaux pour le nettoyage Pompe d'alimentation en eau
Entretien	Appareils de manutention Joints de montage éclairage

Les réservoirs constituent un élément important des réseaux de distribution puisque ce sont des ouvrages qui assurent la régulation et la sécurité de distribution.

4.2. Aspects liés à l'exploitation des réservoirs :

Les réservoirs sont des ouvrages qui nécessitent des interventions régulières (opération courant de surveillance, entretien et nettoyage) ou occasionnelle.

Les réservoirs doivent être conçus pour permettre ces interventions avec le maximum de facilité et de sécurité.

Parmi les opérations de contrôle et d'inspection sur les ouvrages de stockage on site :

4.2.1. Contrôle hebdomadaire :

- ✓ Etat de propreté, fenêtre et accès, étanchéité de la fermeture.
- ✓ Aération, obstruction et détérioration des grilles de protection.
- ✓ Turbidité de l'eau.

4.2.2. Contrôle semestriel :

- ✓ Etat de l'ouvrage, fissuration.
- ✓ Trop plein et vidange, fonctionnements des clapets, nettoyage et écoulement
- ✓ d'eau dans la conduite de drainage.
- ✓ Contrôle des appareils de mesure.

4.2.3. Nettoyage :

Les opérations de nettoyage et de désinfection des réservoirs comportent des diverses phases, comme le décapage des dépôts et rinçage des parois des poteaux et du radier avec un jet sous pression, on prend soin de ne pas détériorer les revêtements éventuels.

5. LA GESTION ET L'EXPLOITATION DU RESEAU D'AEP :

Afin d'assurer une bonne gestion de réseau d'adduction et de distribution, il faut que ce dernier soit bien conçu en respectant les diverses normes et les conditions de pose des conduites, et d'équiper le réseau de différents organes et accessoires en adaptant les matériaux aux appropriés que facilitera sa gestion et son entretien.

5.1. Prévention, contrôle et surveillance de la qualité de l'eau :

Le maintien de la qualité de l'eau pendant sa distribution nécessite un suivi de contrôle et de prévention, il est indispensable de procéder à des analyses périodiques sur la majorité du réseau pour obtenir une cartographie de la qualité sur les paramètres tels que : chlore, la bactériologie, la turbidité.

5.2. La lutte contre le vieillissement des conduites :

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps celui-ci est dû, soit au mauvais fonctionnement hydraulique du réseau (chute de pression, chute de rendement du réseau et coupures). Soit à d'autres dommages (dégradation de la qualité de l'eau).

5.3. La problématique des fuites

Les fuites engendrent des pertes qui peuvent être de deux types :

- Les pertes au niveau d'adduction qui surviennent dans le cas où il y a des transferts d'eau très importants, entre la production et la mise en distribution. L'absence de comptage tant à l'amont qu'à l'aval ne permet pas d'évaluer ces pertes.
- Les pertes en distribution qui correspondent à la différence entre le volume d'eau distribué et le volume d'eau consommé. Elles sont dues aux :
 - Fuites au niveau des joints,
 - Fuites aux différentes prises de branchement,

- Fuites sur branchements ;
- Cassures des conduites ;
- Erreurs de comptage ;
- Eaux piratées (branchements illicites).

Ces fuites (ruptures) qui entraînent automatiquement des interventions sur le réseau, on l'appelle par la suite **défaillance**. Elles sont mise en évidence, soit parce qu'elles entraînent, au niveau de la chaussée, une inondation plus au moins importante, soit parce que l'on constate une augmentation brutale de la consommation de nuit.

Dans ce cas on peut trouver l'endroit de la rupture avec précision ou de la fuite avec un jeu de vannes.

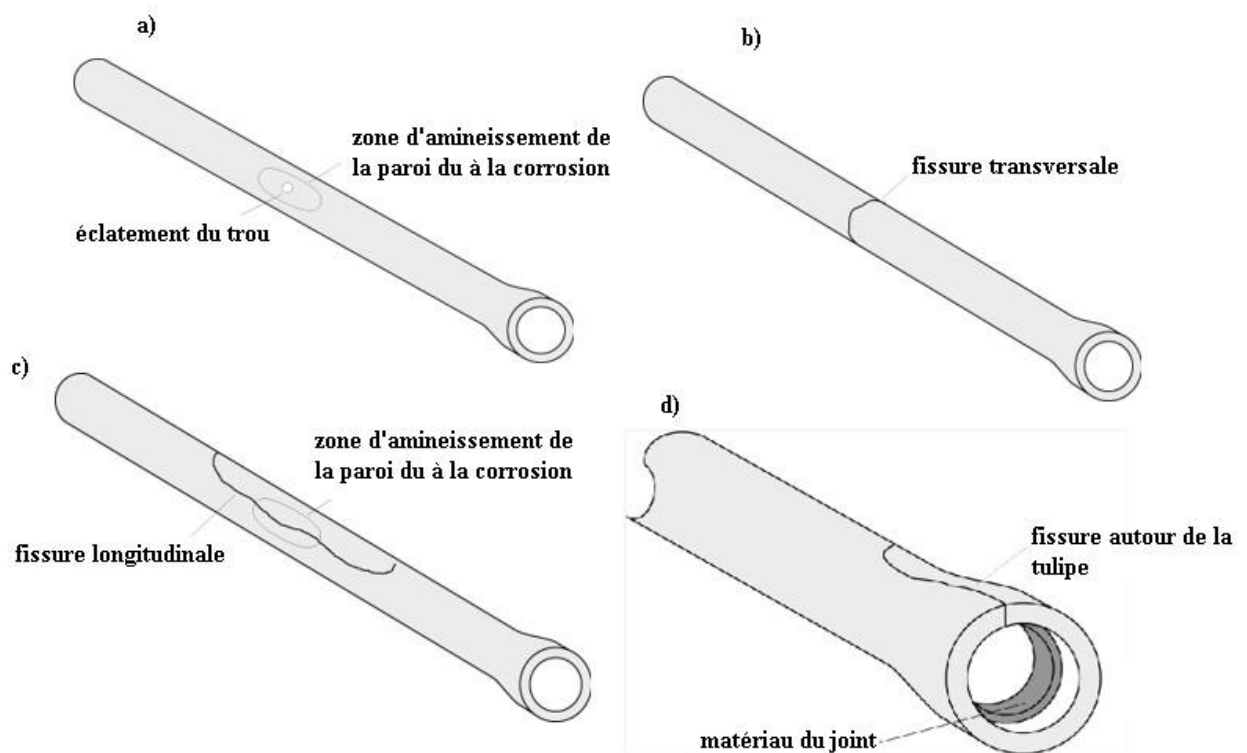


Figure 5 : Différents types de ruptures des conduites d'eau potable :

- a) Eclatement, b) Fissure transversale, c) Fissure longitudinale, d) Fissure autour de la tulipe et joint.

Ces casses caractérisent un mauvais état de la conduite et une certaine fragilisation ; elles peuvent avoir lieu à la suite d'une corrosion dans le temps de la conduite reliée à un mouvement de sol ou une augmentation de la pression interne. Elles correspondent soit à une diminution de la paroi de la conduite, soit à la formation de trous (figure 5.a).

En général ces ruptures sont différentes selon le diamètre. En fonction du diamètre et du type de défaillances, les ruptures transversales (figure 5.b) ont lieu surtout sur les petits diamètres alors que les gros diamètres subissent plutôt des ruptures longitudinales ou des piquages (figure 5.c). Elles peuvent également concerner les fuites au niveau des joints (pour les diamètres plus élevés (figure 5.d)) qui, en fonction de leurs importances, deviennent apparentes.

5.4. Causes des fuites

Les fuites peuvent être dues aux plusieurs facteurs. Ils peuvent être répartis en groupes :

- Les éléments propres au type de la canalisation
- Les éléments liés à l'exploitation des réseaux
- Les éléments extérieurs aux réseaux.

La figure 6 montre les différentes causes qui peuvent entraîner l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable.

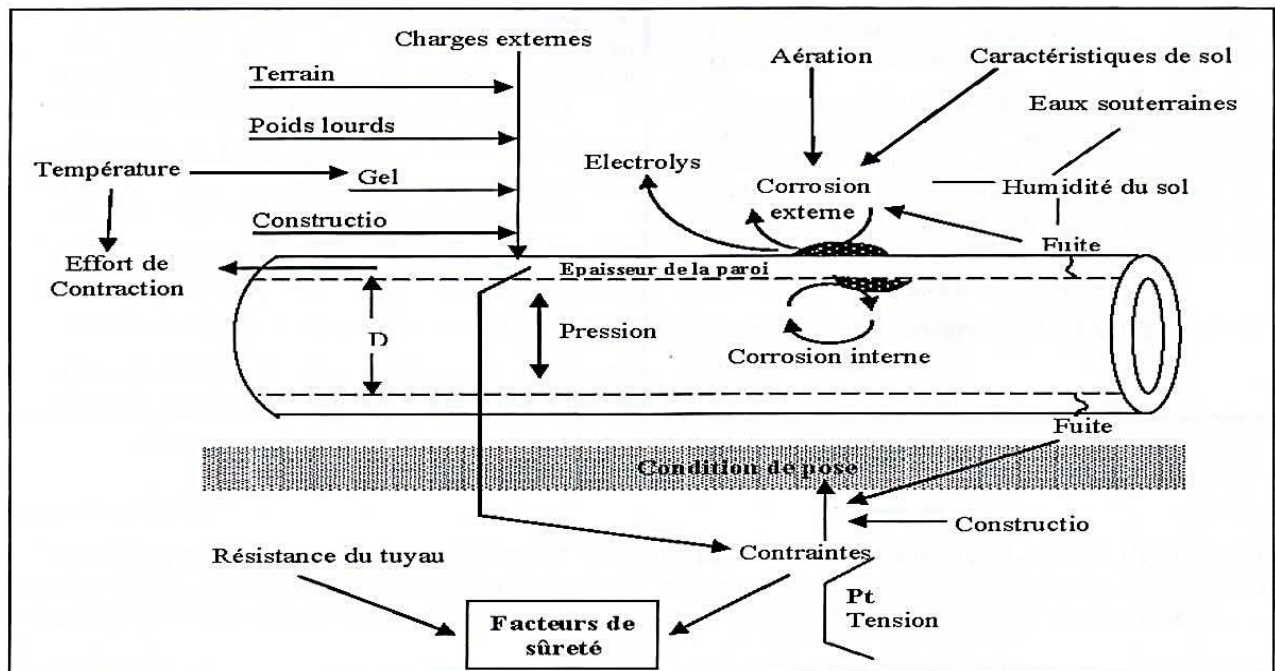


Figure 6 : Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable

5.5 Les éléments influençant l'apparition des fuites

5.5.1. Les éléments propres à la canalisation

La durée de vie d'une conduite dépend de son matériau constructif, de ses dimensions (diamètre, épaisseur de la paroi), de ses résistances aux efforts internes et externes qui s'y appliquent et du processus de corrosion qui se développe.

- Le diamètre;
- Le matériau;
- Le type de joint;
- La corrosion interne.

A- Le diamètre

Le diamètre peut jouer un rôle important dans le mécanisme d'apparition des défaillances. Ainsi un petit diamètre est plus sensible aux efforts de traction. Les tuyaux de diamètre inférieur à 100mm ont presque toujours des ruptures transversales.

B- Le matériau

Tout matériau de canalisation d'eau potable doit se conformer à certaines spécifications de telle sorte qu'on évite de détériorer la qualité de l'eau transportée et retarder au maximum le vieillissement du réseau.

C- Le type des joints

Les joints sont conçus pour relier des tronçons de tuyaux. Ils doivent être placés entre des tuyaux alignés pour éviter leur détérioration prématurée.

Ils existent trois types de joints ; en plomb ; en caoutchouc et en matière plastique elles se distinguent par leurs caractéristiques :

- les joints au plomb ne sont pas élastiques et transmettent donc les tensions d'un tuyau à l'autre.
- Les joints en caoutchouc sont bien entendu élastiques. Cependant leur vieillissement est encore mal connu.
- Les joints en matière plastique, les joints élastomères et les joints collés, entraînent des fuites diffuses importantes. Les services techniques ayant posé ce type de joint ont observé bien souvent une diminution du rendement de réseau.

D- la corrosion interne

La corrosion est toujours le résultat de la présence simultanée de deux agents : le métal et le milieu corrosif qui est l'eau dans le cas de la corrosion interne. La corrosion interne est régie par nombreux facteurs :

- La vitesse de l'eau peut avoir une influence sur les zones de dépôt ;
- Quand le PH d'équilibre n'est pas atteint, l'eau est alors agressive favorisant cette corrosion qui est particulièrement importante pour les tuyaux en acier ;
- Si l'équilibre calco-carbonique de l'eau n'est pas atteint, il se produit soit une diminution d'épaisseur de la paroi de la canalisation (eau agressive), soit une diminution de la section de la canalisation (eau incrustante).

Les principales conséquences de la corrosion interne sont la modification des diamètres des canalisations, la dégradation de la qualité de l'eau transportée et les capacités hydrauliques de la conduite.

5.5.2. Les éléments extérieurs aux réseaux

Les facteurs liés à l'extérieur de la canalisation sont :

A- La corrosion externe

Elle correspond à l'échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite et peut avoir diverses origines :

• Les courants vagabonds :

Ils sont générés par les installations électriques alimentées en courant continu, peuvent augmenter les risques de corrosion des canalisations. Ainsi une part importante de ces cas courants peut emprunter comme chemin de retour la canalisation en tant que conducteur, ce qui provoque une corrosion au niveau des points de sortie des courants.

- **L'hétérogénéité par contact :**

Elle a lieu au niveau des raccordements de canalisation de matériaux différents, ce qui peut entraîner une différence de potentiel importante et peut induire une pile de corrosion par contact. Pour interdire le passage du courant, il faut isoler les conduites au niveau des raccordements.

- **L'hétérogénéité de surface :**

Est la conséquence du non-respect des conditions de pose. Un choc lors de pose, peut provoquer une altération surfacique ou une discontinuité locale et création d'un phénomène de pile électrique.

- **L'hétérogénéité du sol**

Lorsqu'une canalisation traverse des sols différents, il peut se créer une pile géologique dans laquelle la partie de la canalisation se trouvant dans le terrain le moins aéré devient anodique et se corrode (pile d'aération différentielle).

B- Les mouvements de sol et le trafic

Il faut considérer le poids des voitures, des camions et leur fréquence de passage qui, en fonction de l'épaisseur et du type de sol qui recouvrent la conduite ainsi que du type de chaussée en surface (rigide ou souple), génèrent des problèmes de fatigue et de surcharge.

C- Les charges du terrain

Sous l'appellation charges des terrains, on considère le poids des terres au-dessus de la conduite (d'où l'importance de la profondeur de pose de la canalisation). Ce poids variera d'un site à un autre en fonction de la teneur en eau et du type de matériaux constituant le sol.

5.5.3. Les éléments liés à l'exploitation des réseaux

Les éléments liés à l'exploitation du réseau sont :

- **La vitesse de l'écoulement**

Une demande croissante en eau aura lieu une conséquence de l'augmentation de la vitesse de l'écoulement ce qui introduit une corrosion et génère des contraintes mécaniques excessives. A l'inverse une diminution ou décroissante aura pour conséquence relative des temps de séjour de l'eau dans les conduites, ce qui favorise la sédimentation et l'amorce de nouvelles formes de corrosion. La vitesse de l'eau dans les conduites doit être de l'ordre de m^3/s .

- **La pression**

Il faut que la pression chez l'utilisateur ne dépasse pas 4 bars. Au-delà de cette valeur, il y a risque d'apparition de désordres. A l'inverse la pression minimale à l'entrée doit être 1 bar.

- **La température de l'eau**

Le risque de la température se traduit dans les branches mortes du réseau, où l'eau peut stagner. Une rapide diminution de la température peut alors entraîner une contraction de la canalisation. Et une augmentation des contraintes longitudinale de traction. D'où une fragilisation des tuyaux.

• Les conditions d'exploitation

Une augmentation de la charge hydraulique peut avoir lieu, suite à une modification du régime hydraulique, telle que le passage d'une adduction gravitaire à une alimentation avec pression ou la réduction de section due à une réhabilitation de canalisation. Cette surcharge hydraulique peut alors entraîner une augmentation du nombre de fuites ou de ruptures dans les semaines suivant le changement.

• Les manœuvres sur réseau

Le phénomène du coup de bélier est très violent et est dû à la circulation d'une onde de pression ou dépression dans les conduites suite à l'ouverture ou fermeture brusque d'une vanne ; ou la coupure de l'alimentation en électricité ce qui engendre une coupure de pompage brusque. Ce phénomène peut fragiliser dangereusement les conduites.

6. LA GESTION INFORMATISEE DES RESEAUX :

La complexité des réseaux d'eau potable et la difficulté éprouvée par les gestionnaires de prévoir les phénomènes hydrauliques qui s'y déroulent, fait de la gestion informatisée une opération indispensable, rendue possible grâce aux progrès de l'informatique.

Elle permet en effet :

- D'améliorer la connaissance des réseaux faisant l'objet d'une telle étude ;
- De détecter et de comprendre les désordres pouvant se produire sur le réseau : on peut par exemple localiser les zones où la pression est anormale et en déduire la présence de fuites ou l'existence d'éléments inconnus, s'apercevoir que les temps théoriques de fonctionnement de pompes sont bien inférieurs aux temps mesurés ou découvrir d'autres indices qui témoignent de dysfonctionnement ;
- De simuler sur une période d'au moins une journée le comportement du réseau afin d'en optimiser les ressources, les capacités de stockage, les pompages ;
- D'étudier l'impact de nouvelles consommations ou d'éventuels incidents, de prévoir et adapter les installations pour faire face à de nouvelles contraintes ou à des situations de crises ;
- De dimensionner les extensions, les renforcements ou les aménagements nécessaires pour satisfaire les nouveaux besoins.

6.1. Cartographie des réseaux

C'est l'ensemble des études et opérations intervenant à partir d'une connaissance approfondie des réseaux (observations, exploitation ...) et l'établissement des cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que leurs utilisations.

Les plans de réseaux sont des outils indispensables à la bonne marche d'un service d'AEP. Ils sont utilisés par de nombreux intervenants tels que les agences d'urbanisme ou autres services publics. On distingue plusieurs plans à des échelles différentes selon leur utilisation.

- Plans à petite échelle (de l'ordre de 1/ 10 000) : Ils offrent une vue globale de l'ensemble du réseau. Ils sont utilisés par les services chargés de la planification et de l'élaboration des plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme (PDAU). Cette échelle est souvent employée aussi dans les zones rurales où les réseaux sont étendus avec une basse densité de branchements et équipements.

- Plans à échelle moyenne (1/ 5000 à 1/ 1000) : Ce sont les plans utilisés sur le terrain par les exploitants. Sur ces plans sont représentés les fonds de plans et les réseaux accompagnés des informations indispensables à l'exploitant.

- Plans à grande échelle (1/500 à 1/100) : Ils permettent une localisation précise des ouvrages existants. Ces plans sont généralement réalisés rue par rue, et présentent le positionnement des canalisations et des pièces spéciales, les branchements et les côtes exactes du réseau. Ces plans sont très utiles, compte tenu de la masse d'informations qu'ils contiennent.

- Plan de recollement : Sur les plans d'exécution qui sont généralement à l'échelle du 1/500 sont reportés tous les réseaux nouvellement construit avec leurs caractéristiques (diamètre, type, nature), sont indiqués aussi les ouvrages annexes, les vannes et les côtes de radiers.

6.2. Cartographie des réseaux d'AEP à l'aide d'un SIG :

La cartographie des réseaux d'AEP doit être fondée sur une parfaite connaissance de ces derniers et de tous leurs éléments constitutifs et leurs fonctionnements.

Les cartes et plans des réseaux, tenus à jour, avec l'indication des différents points singuliers constituent le document de base de l'exploitant.

Ce document de base tend à se développer sur support informatique et constitue un système d'information géographique, véritable base de données fondée sur la représentation géographique des réseaux et de l'ensemble des informations qui y sont associées.

La constitution d'un S.I.G dans l'élaboration des cartes réside dans le fait de :

- Mettre en place une cartographie numérique détaillée facile à mettre à jour.
- Permettre des analyses spatiales en croisant les couches d'information stockées dans la base de données.
- Permettre des études statistiques en procédant à des requêtes multiples.
- Elaborer diverses cartes thématiques en croisant les différentes couches d'informations intéressant le thème,

Les spécifiées de cette cartographie sont liées :

- A la mise en œuvre d'un projet de gestion technique.
- A l'absence d'un projet global de bases de données urbaines dont il faut préserver la faisabilité.
- Au fait que plusieurs collectivités indépendantes gèrent des réseaux de même nature, complémentaires les uns des autres, sur un espace géographique commun.

Les difficultés que rencontrent les services techniques dans la gestion et l'exploitation spatiotemporelle des réseaux d'eau potable nécessitent la mise en place d'une nouvelle dynamique et sens de gestion moyennant des dispositifs adéquats, structurés et planifiés pour qu'ils puissent connaître, apprécier et gérer ces dits réseaux, tels que les SIG en général et les applicatifs métiers dédiés à la gestion d'eau potable en particulier (SIG eau potable). De tels outils permettront de :

- Acquérir une connaissance descriptive et fiable du réseau
- Géo localiser les différents ouvrages constituant le réseau,
- Visualiser les réseaux d'eau potable avec différentes configurations et à différente échelle,
- Cartographier et analyser géographiquement les données du réseau,
- Disposer d'un véritable système d'aide à la décision, implantation d'ouvrages, interventions sur les réseaux.
- Lancer des requêtes de recherches et des analyses thématiques.

- Générer des statistiques et des plans à échelles voulues.
- Faire le suivi des dysfonctionnements du réseau,
- Programmer la distribution d'eau potable selon les résultats de calcul et les différents scénarios de distribution.

7. L'EXPLOITATION DU RESEAU D'ASSAINISSEMENT

Un déficit dans l'exploitation et des dysfonctionnements des réseaux d'assainissement peuvent avoir pour conséquence :

- une mise en danger de la santé publique ;
- une mise en danger de la santé et de la sécurité du personnel d'exploitation ;
- des dégâts à des constructions et infrastructures ;
- des atteintes au milieu naturel (problèmes aux déversoirs d'orage notamment) ;
- des nuisances olfactives ;
- une réduction de la durée de vie des équipements.

L'exploitation réduit au minimum ces risques, en permettant :

- un fonctionnement du réseau sans obstructions ;
- un fonctionnement optimal et conforme à la planification ;
- une évacuation des eaux usées et pluviales sûre et efficace ;
- une durée de vie améliorée des infrastructures ;
- des déversements les plus faibles possibles en provenance du réseau ;
- la préservation des milieux récepteurs dans le cadre fixé par la législation.

8. DIRECTIVES TECHNIQUES POUR L'EXPLOITATION

8.1. Canalisations

8.1.1 Problèmes possibles

- dépôts en tout genre, obstacles diminuant la capacité hydraulique de la canalisation ;
- concrétions calcaires et autres dépôts minéraux ;
- dépôts de graisse ;
- pénétrations de racines ;
- infiltration et exfiltration dues à des problèmes constructifs.

8.1.2 Tâches d'entretien et d'exploitation

Contrôles	Nettoyages / Maintenance	Entretien constructif
• Contrôle visuel au moyen d'inspections par les regards de	• Curage à haute pression	• Réparations robotisées
• Visite des canalisations visitables	• Curage manuel	• Réparations manuelles
• Inspection par caméra	• Fraisage	• Chemisage

8.1.3 Programme général d'exploitation

Au meilleur des cas, la fréquence du curage des collecteurs ne devrait pas dépasser 6 ans et celle des inspections 12 ans. La **pente** en est clairement le critère déterminant.

Si la pente reste le critère déterminant (plus petite ou plus grande que 1,5%), la fréquence d'intervention est aussi fortement influencée par :

- **l'état du collecteur** (également lié aux soins apportés lors de sa construction et lors de sa maintenance) influence l'intervalle par son degré de vétusté ;
- le **type de matériau** (plus la rugosité/abrasivité est importante, plus la fréquence sera élevée), ainsi que le mode de construction (par exemple fond à l'anglaise, réduisant les besoins en curage);
- **l'âge du collecteur**
- la **section**
- la **situation du collecteur** (zone de protection des eaux)
- le **type d'eau** : Les canalisations d'eaux usées strictes (et donc sans flux de rinçage par temps de pluie) seront plus exigeantes en exploitation, suivi des canalisations d'eaux mixtes et enfin des canalisations strictement pluviales. Certaines activités génèrent de plus des eaux usées particulières (eaux particulièrement grasses ou corrosives par exemple) ;
- le **potentiel d'encrassement** effectivement constaté : fortement lié à la nature des eaux collectées, la fréquence sera d'autant plus élevée qu'un collecteur est caractérisé par un potentiel d'obstruction élevé.

La plage des fréquences suivantes est donc proposée à titre indicatif, les limites supérieures en sont néanmoins contraignantes. Il appartiendra à l'exploitant, respectivement au propriétaire, d'analyser les critères mentionnés ci-dessus pour affiner au plus juste les intervalles effectivement retenus dans le concept d'exploitation.

Les intervalles de nettoyage sont à ajuster en cas de modifications des conditions ou en fonction des résultats des précédents nettoyages et inspections.

Désignation	6 mois	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6 ans	12 ans	Remarques
Collecteurs :									
• pente faible (< 1,5%)									Pour les pentes très faibles ou tronçons sensibles, un contrôle plus fréquent peut être nécessaire.
• pente moyenne à forte (> 1,5%)									

Contrôle visuel - inspection par caméra non comprise
 Curage

8.1.4 Contrôle visuel des collecteurs

Le contrôle visuel de l'écoulement **par les regards de visite** (à savoir ouverture du couvercle et

contrôle de l'écoulement sans accéder) permet de constater le bon fonctionnement ou non du réseau et, cas échéant, de mettre en œuvre les mesures nécessaires.

Ce contrôle visuel s'effectue selon les intervalles donnés plus haut. L'intervalle sera de 6 ans au plus.

Le programme pour le contrôle visuel des collecteurs est élaboré sous la forme d'un plan sectoriel. D'éventuels tronçons isolés posant des problèmes particuliers pourront avoir un intervalle d'inspection plus rapproché.

8.1.5 Curage

Le réseau est divisé par quartiers et/ou par bassins versants afin d'assurer un tournus équilibré des travaux de curage et de les coordonner avec les inspections par caméra. Les curages sont dans la plupart des cas effectués de l'amont vers l'aval. Le programme pour le curage des collecteurs est élaboré sous forme d'un plan sectoriel. Il peut être opérationnellement avantageux pour l'exploitant de procéder simultanément à l'inspection et au curage.

Le curage s'effectue selon les intervalles donnés plus haut. L'intervalle sera de 12 ans au plus.

8.1.6 Inspection par caméra

L'exploitant prévoit un plan d'inspection TV permettant le contrôle complet du réseau une fois tous les 15 ans. Si un tronçon est âgé de moins de 15 ans et s'il est attribué à la meilleure classe d'état dans le rapport d'état des canalisations, le contrôle TV suivant pourra être distant de 20 ans au plus.

Le passage de la caméra est précédé d'un curage. Pour répondre à cette exigence, des adaptations des intervalles de curage sont possibles.

8.2. Regards de visite

8.2.1 Problèmes possibles

- ✓ couvercles en mauvais état, pas à niveau, etc. ;
- ✓ problèmes d'accès au regard de visite ; mauvais état du regard de visite ; odeurs ;
- ✓ infiltrations d'eaux ;
- ✓ dépôts.

8.2.3 Intervalles

Les regards de visite sont vérifiés lors du contrôle visuel des canalisations, ceci en respectant les mêmes intervalles.

Les regards de visite avec confluence de canalisations doivent faire l'objet d'une attention particulière et de contrôles plus fréquents au besoin, pouvant aller jusqu'à plusieurs fois par an.

8.3. DEVERSOIRS D'ORAGE

8.3.1 Problèmes possibles

- mauvais réglage de l'ouvrage ou des organes déversant, vanne, dégrilleur,...) ;
- dépôts, obstructions dans l'ouvrage ;
- colmatage du dégrilleur (si existant) ;
- déversement par temps sec ou trop faible débit.

8.3.2 Problèmes possibles

- mauvais réglage de l'ouvrage ou des organes déversant, vanne, dégrilleur,...) ;
- dépôts, obstructions dans l'ouvrage ;
- colmatage du dégrilleur (si existant) ;
- déversement par temps sec ou trop faible débit.

8.3.3 Tâches d'entretien et d'exploitation

Contrôles	Nettoyages / Maintenance	Entretien constructif
• Contrôle visuel de l'ouvrage	• Nettoyage des matériaux grossiers	• Réparations de génie civil
• Contrôle de fonctionnement des organes mécaniques	• Nettoyage haute pression de l'ouvrage	• Réparations des équipements
• Contrôle de réglage à la valeur de consigne	• Nettoyage du dégrilleur (si existant)	• Adaptation de l'ouvrage
• Contrôle du point de rejet	• Graissage et entretien des organes mécaniques	

8.3.4 Intervalles

Désignation	1 mois	2 mois	6 mois	1 an	forte pluie
Ouvrages spéciaux					
• déversoir d'orage					
• dégrilleur / tamiseur					



8.4. Points de rejets des réseaux d'eaux pluviales

8.4.1 Problèmes possibles

- ✓ faux raccordements (EU sur EP), ce qui signifie un écoulement visible d'eau usée (turbidité, odeurs,...) par temps sec ;
- ✓ présence de déchets solides ;
- ✓ accumulation de matières solides dans le cours d'eau ;
- ✓ obstruction du point de rejet par le cours d'eau (ensablement, matériaux d'obstruction).

8.4.2 Tâches d'entretien et d'exploitation

Un contrôle des points de rejet permet la mise en évidence de ces problèmes. Ce contrôle est prévu à un intervalle bisannuel (en été et en hiver). Toutefois si aucun problème n'a été détecté après une période d'une année de contrôle et si aucune modification de réseau et aucune nouvelle construction n'a été réalisée en amont du point de rejet, un contrôle annuel peut suffire. Il ne s'agit pas de caractériser l'impact sur le milieu récepteur, mais de détecter les anomalies clairement visibles.

8.4.3 Intervalles

Désignation	1 mois	2 mois	6 mois	1 an	forte pluie	Remarques
• point de rejet eaux pluviales						Une fois en été, une fois en hiver

Contrôle visuel

8.5. Ouvrages de rétention et bassins d'eaux pluviales

8.5.1 Problèmes possibles

- dépôts, accumulation des matériaux, obstructions dans l'ouvrage ;
- putréfaction des dépôts ;
- apparition de problèmes hydrauliques ;
- dysfonctionnement des organes mécaniques.

8.5.2 Tâches d'entretien et d'exploitation

Contrôles	Nettoyages / Maintenance	Entretien constructif
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle visuel de l'ouvrage • Contrôle de fonctionnement des organes mécaniques • Contrôle de réglage à la valeur de consigne • Contrôle du point de rejet 	<ul style="list-style-type: none"> • Elimination des matériaux grossiers • Nettoyage haute pression de l'ouvrage • Graissage et entretien des organes mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Réparations de génie civil • Réparations des équipements • Adaptation de l'ouvrage

8.5.3 Intervalles

Des fréquences de contrôle et de nettoyage standards pour les bassins d'eaux pluviales sont indiquées dans le tableau suivant :

Désignation	1 mois	2 mois	6 mois	1 an	forte pluie	Remarques
Ouvrages spéciaux						
• bassin d'eaux pluviales			1	2	1	1) si nécessaire 2) nettoyage obligatoire

Contrôle

Nettoyage

Lors du nettoyage, il faut veiller à ce que les résidus soient évacués et l'eau de lavage polluée soit dirigée vers la STEP et non dans le milieu récepteur.

8.6. STATIONS DE POMPAGE

8.6.1 Problèmes possibles

- obstruction des pompes ;
- accumulation de dépôts solides dans la bêche ;
- panne ou mise hors service lors de périodes d'entretien provoquant des déversements d'eaux usées ;
- panne ou défektivité d'une partie mécanique ou électrique de la station de pompage.

8.6.2 Tâches d'entretien et d'exploitation

Contrôles	Nettoyages / Maintenance	Entretien constructif
<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle visuel de l'ouvrage • Contrôle de fonctionnement des organes mécaniques et de la pompe • Contrôle de réglage à la valeur de consigne 	<ul style="list-style-type: none"> • Elimination des matériaux grossiers • Vidange et nettoyage complet de la bêche de pompage • Graissage et entretien des organes mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> • Réparations de génie civil • Réparations des équipements • Adaptation de l'ouvrage

8.6.3 Intervalles

Désignation	1 mois	2 mois	6 mois	1 an	forte pluie	Remarques
• station de pompage	1			2		1) comprend la maintenance de la pompe 2) vidange et nettoyage complet de la bêche

Contrôle
 Nettoyage

CHAPITRE 03

PARAMETRES HYDRAULIQUES DES ECOULEMENTS

1. INTRODUCTION :

Un indicateur permet de mesurer et piloter un processus ou un système par rapport à un objectif. Prendre des décisions et des actions correctives pour atteindre les objectifs et les améliorations tracés. « *Si vous ne pouvez pas mesurer quelque chose, comment savez-vous que vous l'avez amélioré* »

2. FIABILITE DES RESEAUX

2.1. Indices de fiabilités hydrauliques

2.1.1. Indice de criticité hydraulique

Cet indice permet de comparer la quantité d'eau desservie dans l'ensemble du réseau avant et après l'indisponibilité d'une conduite donnée. Afin de calculer l'Indice de Criticité Hydraulique (ICH) d'une conduite i , il est nécessaire de calculer les pressions et les demandes aux niveaux de tous les nœuds de consommation en fonction des paliers susmentionnés :

$$ICH_j = \frac{\sum_{\text{Noeuds } i} (Demande_i - Consommation_i)}{\sum_{\text{Noeuds } i} Demande}$$

2.1.2. Indice de déficience aux nœuds

Cet indice (IDN) traduit l'impact de l'indisponibilité d'une conduite donnée sur la desserte en eau des abonnés. Il permet de recenser l'ensemble des nœuds de consommation où la desserte n'est pas assurée. On suppose qu'au-dessous d'une certaine pression inférieure à P (Inf P) la desserte en eau n'est plus assurée. Pour chaque conduite élaguée, un calcul de pression est effectué à l'aide de Epanet 2, puis une comparaison avec la pression Inf P est effectuée. Si la pression mesurée aux nœuds de consommation est inférieure à la pression, alors le nœud considéré ne sera pas desservi tant que la conduite est indisponible. Cette procédure permet d'identifier l'ensemble des nœuds non desservis. Une fois ces nœuds identifiés, pour chaque conduite élaguée nous calculons le rapport entre le nombre de nœuds non desservis et le nombre de nœuds total constituant le réseau. Le calcul se fait comme suit :

$$IDN_i = \frac{\text{Nombre de nœuds non desservis}}{\text{Nombre total de nœuds constituant le réseau}}$$

2.2. Le rendement

Le rendement de réseau est un indicateur simple et très utilisé qui permet d'apprécier la qualité d'un réseau. Il représente le rapport entre la quantité d'eau utilisée par les abonnés et la quantité d'eau introduite dans le réseau. Il existe de nombreuses définitions du rendement qui dépendent des volumes pris en compte pour son calcul. Dans notre analyse, il s'agit plus précisément du rendement dit primaire. Pour un service de distribution, l'essentiel est de définir précisément les termes utilisés et d'en suivre l'évolution d'une année sur l'autre.

2.2.1. Rendement primaire

Le rendement primaire (RP) est le rendement le plus simple à calculer, il ne tient pas compte des volumes utilisés non comptabilisés.

$$RP = \frac{\text{Volume d'eau consommé par les abonnés}}{\text{Volume mis en distribution}}$$

2.2.2. Rendement net

Le rendement net (RN) est le rendement, parfois appelé rendement technique, traduit bien la notion d'efficacité du réseau, puisqu'il compare la totalité de l'eau utilisée avec celle introduite dans le réseau. Pour le calcul du volume consommé, il faut additionner le volume consommé comptabilisé et le volume consommé non comptabilisé.

$$RN = \frac{\text{Volume d'eau consommé comptabilisé}}{\text{Volume mis en distribution}} * 100$$

2.2.3. L'indice linéaire de perte des réseaux d'eau potable

Le rendement n'étant pas un indicateur toujours pertinent pour apprécier l'état d'un réseau, l'analyse peut être confortée par le calcul de l'Indice Linéaire de Perte (ILP). L'ILP permet de mesurer les volumes d'eau perdus par jour pour 1 Km de réseau.

$$ILP = \frac{\text{Volume des pertes}}{\text{Longueur des conduites hors branchement}}$$

2.2.4. L'indice linéaire de perte primaire

On ne tient pas compte des volumes utilisés non comptabilisés.

$$ILP_{\text{primaire}} = \frac{\text{Volume annuel mis en distribution} - \text{volume annuel comptabilisé}}{\text{Linéaire de réseau} * 365}$$

2.2.5. L'indice linéaire de perte net

$$ILP_{\text{net}} = \frac{\text{Volume annuel mis en distribution} - \text{volume annuel consommé}}{\text{Linéaire de réseau} * 365}$$

2.2.6. Indice linéaire de consommation

$$ILC = \frac{\text{Volume consommé}}{\text{Longueur des conduites hors branchement}}$$

2.2.7. Indice linéaire de production

$$ILP = \frac{\text{Volume produit}}{\text{Longueur des conduites hors branchement}}$$

Un réseau d'eau est considéré comme fiable si son rendement est élevé et vice versa. L'augmentation du rendement d'un réseau passe obligatoirement par la réparation des fuites et dans le cas échéant par sa réhabilitation.

En fin la recherche des fuites semble une étape essentielle dans la maintenance des réseaux.

3. METHODES ET TECHNIQUES DE DETECTION DES FUTES DANS LES RESEAUX D'EAU POTABLE :

Au cours de cette dernière décennie, les méthodes de détections des fuites d'eau ont été passablement modifiées, d'une part grâce à l'apparition de nouveaux appareils et, d'autres parts, par le choix des techniques qui réduisent la part de travail de nuit qui entraînait des frais élevés du personnel.

3.1. La technique du gaz traceur

Cette technique consiste à injecter dans une partie isolée d'une conduite un gaz non toxique, plus léger que l'air et insoluble dans l'eau (l'hydrogène). Le gaz s'échappe par l'ouverture de la fuite, puis atteint la surface en s'infiltrant à travers le sol et la chaussée. On repère la fuite en balayant la surface du sol située juste au-dessus de la conduite au moyen d'un détecteur de gaz très sensible.

3.2. La thermographie

Le principe d'utilisation de la thermographie pour la détection des fuites est quand l'eau échappe d'une conduite souterraine. Cette eau modifie les caractéristiques thermiques du sol environnant (création d'une zone d'adsorption thermique plus efficace que le sol sec environnant). Les anomalies thermiques produites au-dessus de la conduite sont décelées par des caméras infrarouges portatives.

3.3. Le géo radar

Les radars permettent de repérer les fuites de deux façons.

- Ils détectent les vides créés dans le sol par l'eau qui fuit et circule autour de la conduite.
- Ils détectent les segments des conduites qui semblent plus profonds qui sont à cause de l'augmentation de la valeur de la constante diélectrique du sol gorgé d'eau, aux alentours de la fuite. Les ondes du géo radar sont partiellement réfléchies vers la surface du sol lorsqu'elles rencontrent une anomalie dans les propriétés diélectriques (un vide ou une conduite). En balayant la surface du sol, on obtient la taille et la forme de l'objet sur l'écran du radar.

3.4. Méthode acoustique

La méthode acoustique de contrôle des pertes est une technique d'auscultation simple, ne demandant qu'un appareillage réduit. Cette technique exige cependant beaucoup d'expérience et une oreille exercée de la part de l'opérateur.

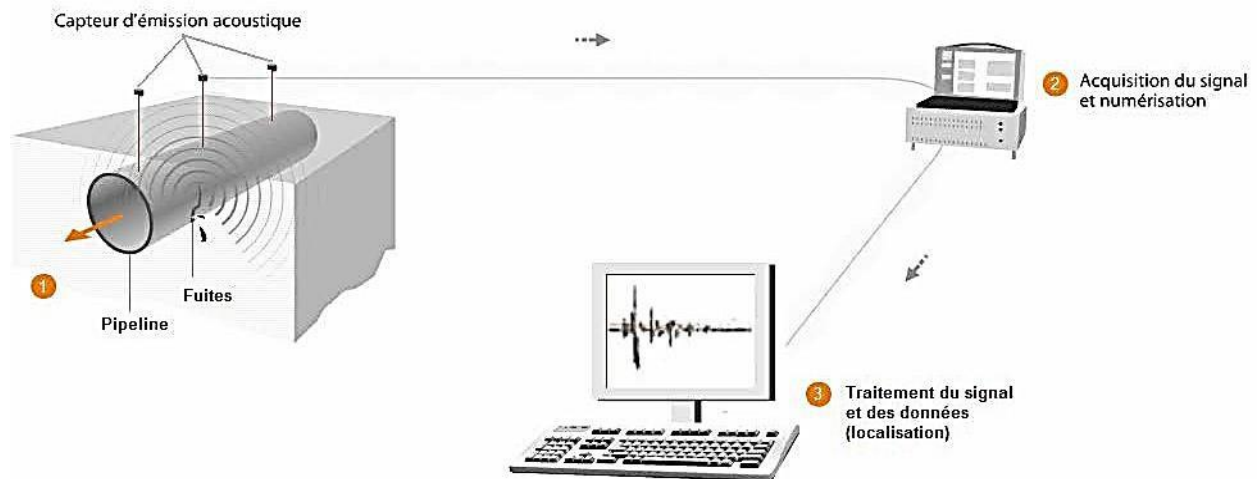


Figure 7 : Principe de la détection

La technique est utilisée avec succès dans les zones comprenant beaucoup de branchements et de vannes. Toutes les pertes ne peuvent toutefois pas être décelées en raison du très grand nombre de possibilités de fuites. Une fuite peut également être « masquée » par le bruit d'une autre fuite. Cette méthode est applicable à tous les réseaux métalliques. Elle est plus particulièrement recommandée pour les réseaux dont la pression de service est supérieure à 3 bars.

3.5. Quantifications :

La méthode de quantification, nécessite l'utilisation d'un camion de diagnostic équipé de matériels et appel à un travail de sectorisation. Son principe est basé sur l'enregistrement des variations des débits et des pressions sur un tronçon ou un secteur, alimenté uniquement à travers le camion de diagnostic, et parfaitement isolé du reste du réseau. Le travail s'effectue dans une tranche horaire comprise entre minuit et cinq heures du matin. La condition principale d'application de la méthode est que le réseau soit ramifié. Tout réseau maillé peut être transformé en réseau ramifié par une fermeture successive des vannes, pour isoler les tronçons un à un.

A- Les appareils d'auscultation :

Ce sont des tiges d'écoute ; des aquaphones et des géophones, ou microphones au sol. Ces appareils sont soit mécaniques, soit électroniques. Ils utilisent des mécanismes ou des matériaux sensibles (comme les éléments piézoélectriques) pour capter les vibrations ou les bruits émis par les fuites. Les appareils électroniques modernes sont munis d'amplificateurs de signaux et de filtres antiparasites pour mettre en relief le signal produit par la fuite. Le mode d'emploi des appareils d'auscultation est généralement simple mais leur efficacité dépend de l'expérience de l'opérateur.

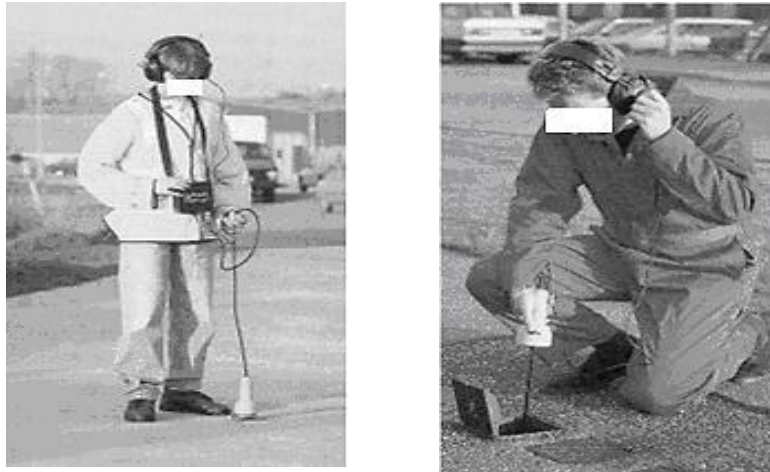


Figure 8 : Appareils d'auscultation ; les tiges d'écoute (à gauche) et microphones (à droite)

B- La corrélation acoustique

L'objectif de la corrélation acoustique est de déterminer avec précision la position exacte d'une fuite. Le corrélateur utilise comme principe la ressemblance entre deux signaux résultant du bruit de fuite. Il détermine alors la différence des temps de propagation du bruit grâce à deux capteurs placés aux deux extrémités de la canalisation, ce qui permet de localiser la fuite.

C- Les corrélateurs de bruits de fuites

Ce sont des appareils portatifs à microprocesseurs qui repèrent précisément et automatiquement les fuites par la méthode de la corrélation croisée. On mesure dans ce cas le signal acoustique émis par une fuite au moyen de capteurs de vibrations ou d'hydrophones disposés sur deux points de contact avec la conduite (généralement des bouches d'incendie ou des vannes), ce qui permet de déterminer l'emplacement de la fuite présumée.

Les signaux produits par les fuites sont transmis, sans fil, des capteurs au corrélateur. Dans la plupart des cas, la fuite ne se trouve pas à égale distance des points de mesure.

Temps mis par le signal 1 pour arriver : $T_1 = \frac{L_1}{V}$

Où V représente la vitesse de propagation du son dans la conduite. Le temps mis par le signal 2 à fin d'arriver est :

$$T_2 = \frac{L_2}{V}$$

Décalage du signal 2 par rapport au signal 1 :

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{L_2 - L_1}{V}$$

$$L_2 = D - L_1$$

$$\Delta T = \frac{D - 2L_1}{V}$$

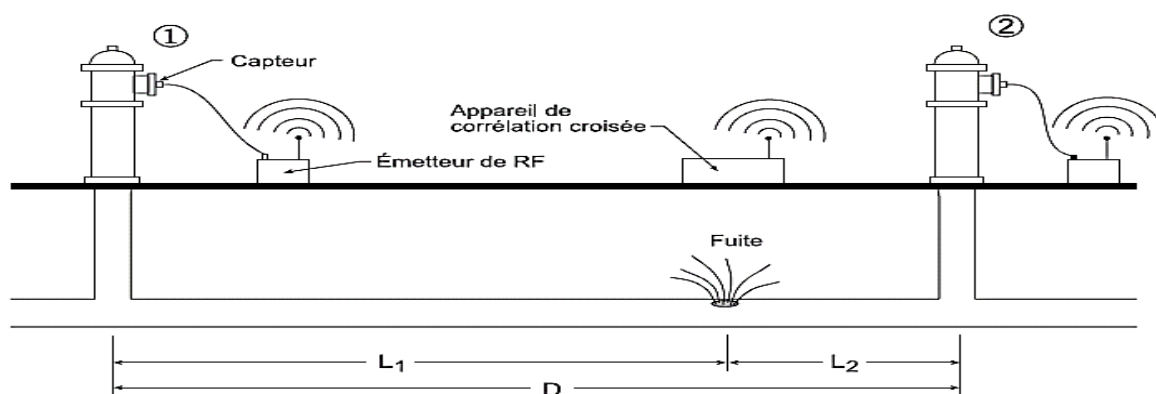


Figure 9 : La corrélation par bruit de fuites

CHAPITRE 04

CONTROLE DE POLLUTION

1. INTRODUCTION :

Les eaux potables sont toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou à d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source.

2. TYPES DE CONTROLE DE QUALITE DE L'EAU :

Trois types de contrôle de qualité de l'eau sont indispensables pour qu'on puisse dire qu'une eau est potable : contrôle bactériologique, contrôle de désinfection et contrôle physico-chimique.

2.1. Contrôle physico-chimique :

Il consiste à mesurer les paramètres physiques (la température, et la turbidité) et les paramètres physico-chimiques (la conductivité, le pH, le potentiel redox, l'oxygène dissous etc..) pour avoir des informations sur les éléments qui constituent une eau.

❖ La température :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau.

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

❖ La conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau à 25°C :

1 Siemens (S) = 1000 millisiemens (mS) = 1000000 micro siemens (µS).

Tableau 5 : Minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique

$\chi = 0.005 \mu\text{S/cm}$	eau déminéralisée
$10 < \chi < 80 \mu\text{S/cm}$	eau de pluie
$30 < \chi < 100 \mu\text{S/cm}$	eau peu minéralisée, domaine granitique
$300 < \chi < 500 \mu\text{S/cm}$	eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (karst)
$500 < \chi < 1000 \mu\text{S/cm}$	eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$\chi > 30000 \mu\text{S/cm}$	eau de mer

❖ **Le PH :**

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14,7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau :

Tableau 06 : Classification des eaux d'après leur PH

pH < 5	- acidité forte, pH coca cola = 3, pH jus d'orange = 5 - présence d'acide minéral ou organique dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	neutralité approchée, majorité des eaux de surfaces
5.5 < pH < 8	eaux souterraines
pH > 8	alcalinité

❖ **La turbidité:**

Elle permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Elle se mesure sur le terrain à l'aide d'un tube plastique transparent.

Unités : 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

Les classes de turbidités usuelles sont les suivantes :

Tableau 07 : Qualité des eaux en fonction de la turbidité

NTU < 5	eau incolore
5 < NTU < 30	eau légèrement colorée
NTU > 50	eau colorée
NTU > 200	eau de surface "Africaine"

❖ **Oxygène dissous :**

L'eau absorbe autant d'oxygène que nécessaire pour que la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air soit en équilibre. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique (donc de l'altitude), de la température et de la minéralisation de l'eau : la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'altitude augmente.

La concentration en oxygène dissous est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

❖ **La dureté de l'eau :**

La dureté de l'eau ou titre hydrotimétrique (TH). Se mesure exprime la concentration en sels dissous de dureté et de magnésium. On distingue deux type de dureté durée permanente et dureté carbonatée qui se après l'ébullition de l'eau et qui correspond au sulfates et chlorure de Mg et Ca. La dureté temporaire c'est la dureté provoquée par les hydrogencarbonates des Ca et Mg.

❖ L'alcalinité :

D'une eau correspond à la présence d'ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates. Elle se détermine par acidimétrie et se caractérise par 2 paramètres.

Le Titre Alcalimétrique (TA) qui correspond à la première neutralisation des ions carbonates, c'est la mesure de la teneur en OH^- et CO_3^{2-} .

On considère que la réaction est terminée lorsque le pH du milieu a atteint 8,3. La quantité de protons nécessaire à la réalisation de cette réaction dans un litre d'eau est appelée le Titre Alcalimétrique. La quantité de protons nécessaire à la réalisation de cette réaction dans une litre d'eau appelée le titre alcalimétrique.

2.2. Contrôle organoleptiques

Ces paramètres concernent la couleur, la transparence, la saveur et l'odeur de l'eau. Cependant ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière et néanmoins être consommable.

2.3. Contrôle bactériologique

Le contrôle bactériologique consiste à contrôler les bactéries coliformes totales, notamment les bactéries coliformes fécales ou *Escherichia Coli*, et les bactéries hétéro-trophes aérobies et anaérobies facultatives (BHAA). Il est important de noter qu'au moins 50 % des échantillons doivent être prélevés aux extrémités du système de distribution afin de mesurer les BHAA.

3. LES NORMES DE POTABILITES :

Un paramètre est un élément dont on va rechercher la présence et la quantité. La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser, ou une limite inférieure à respecter.

Un critère donné est rempli, lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Un paramètre ne devient un critère qu'à partir du moment où il est choisi pour établir une norme.

La norme fixe pour chacun des paramètres retenus comme critères une valeur chiffrée, qui définit soit un maximum à ne pas dépasser, soit une quantité minimum, soit encore une fourchette comprise entre un minimum et un maximum.

3.1. Normes algériennes du ministre des ressources en eau (depuis 22 mars 2011) :

L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, on peut dire que c'est une combinaison de différentes normes qui existe sur le plan international.

Tableau 08 : Paramètres avec valeurs indicatives (Normes algériennes du MRE depuis 22 mars 2011)

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	PH	Unité pH	≥ 6.5 et ≤ 9.5
	Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2800
	Température	°C	25
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur 12°C	Taux dilution	4
	Saveur 25°C	Taux dilution	4

Tableau 09 : Paramètres avec valeurs limites (Normes algériennes depuis 22 mars 2011)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	1
	Fer total	mg/l	0,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Manganèse	$\mu\text{g}/\text{l}$	50
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Phosphore	mg/l	5
	Acrylamide	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,5
	Antimoine	$\mu\text{g}/\text{l}$	20
	Argent	$\mu\text{g}/\text{l}$	100
	Arsenic	$\mu\text{g}/\text{l}$	10
	Cadmium	$\mu\text{g}/\text{l}$	3
	Chrome total	$\mu\text{g}/\text{l}$	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanure	$\mu\text{g}/\text{l}$	70
	Mercure	$\mu\text{g}/\text{l}$	6
	Nickel	$\mu\text{g}/\text{l}$	70
	Plomb	$\mu\text{g}/\text{l}$	10
	Sélénium	$\mu\text{g}/\text{l}$	10
Zinc	mg/l	5	

	Hydrocarbures	µg/l	0,2
	Phénols	µg/l	0,5
	Pesticides	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlore	mg/l	5
	Chlorite	mg/l	0,07
	Trihalométhanes (THM)	µg/l	100

Tableau 10 : Paramètres microbiologiques (Normes algériennes du MRE depuis 22 mars 2011)

Groupe de paramètres	Paramètres	Unités	Valeurs limites
Paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	nb /100ml	0
	Entérocoques	nb /100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices	nb/20ml	0

3.2. Normes de l'OMS de qualité des eaux potables :

Les normes de qualité présentées dans les tableaux suivants font référence aux notions de "substances dont la présence dans l'eau revêt une importance sanitaire" et "substances et paramètres pouvant donner lieu à des plaintes des utilisateurs" issues de L'OMS.

Tableau 11 : Paramètres avec valeurs indicatives (Normes de l'OMS 2006)

Groupe de Parametre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
	Conductivité		pas de norme acceptable
	Température		acceptable
	Turbidité	NTU (1NTU pour la désinfection)	5
Paramètres organoleptique	Couleur		Pas de valeur guide
	Goût et odeur		acceptables

Tableau 12 : Paramètres avec valeurs limites (Normes de l'OMS 2006)

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs limites (CMA)
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0,003
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	chrome total : 0,05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0,07

	Mercure (Hg)	mg/l	inorganique : 0,006
	Sélénium(Se)	mg/l	0,01
	Plomb(Pb)	mg/l	0,01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.02
	Fer(Fe)		Pas de valeur guide
	Manganèse(Mn)	mg/l	0 ,4
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0,2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0.5
	Argent		Pas de valeur guide
	Fluorures	mg/l	1,5
	Zinc(Zn)	mg/l	3
	Bore(B)	mg/l	0.5
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires C ₂ H ₃ N ₁ O ₅	µg/l	0.1
	THM (Trihalométhanes) C	µg/l	4
Minéralisation globale	CalciumCa²⁺	mg/l	100
	Chlorures(Cl)	mg/l	250
	Magnésium Mg²⁺	mg/l	50
	Dureté mg/l CaCO₃	ppm	200
	Sodium (Na)	mg/l	20
	Potassium (K⁺)	mg/l	12
	Sulfates (SO₄)	mg/l	500

Tableau 13 : Paramètres microbiologiques (Normes de l'OMS 2006)

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres microbiologiques	Coliformes totaux	nb/100ml	0
	Coliformes fécaux	nb/100ml	0
	Streptocoques fécaux	nb/100ml	0
	Clostridium Sulfito- Réducteurs	nb/100ml	0
	Staphylocoques pathogènes	nb/100ml	0
	Spoires des bactéries	nb/20ml	0
	Vibrions cholériques	nb/10ml	Absence
	Salmonelles	nb/5l	Absence

3.3. Normes de l'Union européenne sur l'eau potable (depuis 3 novembre 1998)**Tableau 14 : Paramètres avec valeurs indicatives (Normes de l'Union européenne depuis 3 novembre 1998)**

Groupe de Parametre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres physiques	PH		≥ 6.5 et ≤ 9.5
	Conductivité	µS/cm à 20°C	2500
	Température	°C	25
	Turbidité	NTU (1 NTU pour la désinfection)	Acceptable pour les consommateurs et pas de changement anormal

Paramètres organoleptiques	Couleur	Acceptable pour les consommateurs sans couleurs anormales
	Goût	Acceptable pour les consommateurs et sans goûts particuliers
	Odeur	Acceptable pour les consommateurs et sans odeurs anormales

Tableau 15 : Paramètres avec valeurs limites (Normes de l'Union européenne depuis 3 novembre 1998)

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	VALEURS LIMITES(CMA)
Eléments toxiques	Arsenic (As)	mg/l	0.01
	Cadmium(Cd)	mg/l	0.005
	Chrome Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	mg/l	0.05
	Cyanure (CN ⁻)	mg/l	0.05
	Mercure (Hg)	mg/l	0.001
	Sélénium(Se)	mg/l	0.01
	Plomb(Pb)	mg/l	0.01
	Antimoine(Sb)	mg/l	0.005
	Fer(Fe)	mg/l	0.2
	Manganèse(Mn)	mg/l	0.05
Eléments indésirables	Aluminium(Al)	mg/l	0.2
	Cuivre (Cu ²⁺)	mg/l	2.0
	Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/l	0,50
	Fluorures	mg/l	1.5
	Bore(B)	mg/l	1
	Hydrocarbures aromatiques	µg/l	0.0001
	THM (Trihalométhanes) C	µg/l	0.01
	Chlorures(Cl)	mg/l	250
	Manganèse Mn	mg/l	0.05
	Turbidité		Acceptable pour les consommateurs et pas de changement
	Sodium (Na)	mg/l	200
	Sulfates (SO ₄)	mg/l	250

Tableau 16 : Paramètres microbiologiques (Normes de l'Union européenne depuis 3 novembre 1998)

Groupe de paramètre	Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Paramètres microbiologiques	Escherichia coli (E. coli)	nb/250 ml	0
	Enterococci	nb/250 ml	0
	Pseudomonas aeruginosa	nb/250 ml	0
	Nombre de colonies à 22°C	nb /ml	100
	Nombre de colonies à 37°C	nb/ml	20

Chaque région a des références ou des normes internationales qui garantissent une eau saine et donc potable. Il y a plusieurs normes de qualité des eaux potables tel que les normes algériennes, les normes de l'OMS, et les normes de l'Union Européenne...

On remarque quelques normes sont les mêmes mais les autres il y a différence entre eux. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a élaboré des normes comme des références de qualité des eaux potables pour les autres pays.

Les recommandations concernant la qualité de l'eau sont établies de façon scientifique ; elles indiquent la concentration maximale admissible des substances en vue d'une utilisation particulière de l'eau.

Si la qualité de l'eau potable du robinet ne provoque pas de maladie, on peut l'accepter même si elle n'est pas exacte selon les normes. Le plus important est la quantité avec une qualité acceptable.

4. NORMES DE REJETS DANS UN MILIEU RECEPTEUR

En termes d'épuration, les eaux traitées sont rejetées dans l'environnement, généralement dans le milieu naturel récepteur précis : rivière, lac, mer, etc. Il est institué des contrôles périodiques et inopinés des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des rejets.

4.1. Normes de rejets internationales

Des normes commencent à être établies pour les divers usages de l'eau qui précisent les teneurs limitées des différents composants dissouts ou transportés pour permettre une utilisation sans risque.

Parmi les normes de rejet internationales appliquées dans le but de préserver un environnement sain, on peut citer les plus répandues.

4.2. Selon les normes européennes

La directive européenne 91/271/CEE du 21 mai 1991, relatives aux eaux résiduaires urbaines présente les dispositions à prendre pour limiter l'impact des eaux résiduaires urbaines sur le milieu naturel, parmi lesquelles, l'obligation d'un traitement conforme de toutes les eaux usées en temps sec ou en temps de pluie, sauf en circonstances exceptionnelles, ce qui impose le respect d'une qualité minimale des rejets pendant 95% du temps.

Le tableau 14 présente les réglementations concernant la qualité des rejets d'eau résiduaire urbaine (extraits de la directive 91/271/CEE du 21 Mai 1991).

Tableau 17 : réglementation concernant la qualité des rejets d'eau résiduaire urbaine
(Extraits de la directive 91/271/CEE du 21 Mai 1991.)

Paramètres (mg/l)	Valeur limite (pour 95% des mesures)	Valeur tolérée (pour un nombre condition maximale de mesure*)	Condition**
DBO ₅	25 mg/l	50 mg/l	

DCO	125 mg/l	250 mg/l	
Azote total	15 mg/l Ou R = 70% 10 mg/l		< 100 000 EH > 100 000 EH
Phosphore total	2 mg/l Ou R > 80 % 1 mg/l		< 100 000 EH > 100 000 EH

* Défini en fonction du flux polluant reçu.

**exprimée en charge brute journalière de pollution organique dans l'arrêté du 22/12/94 (10000 EH correspondent environ à 600 kg DBO₅/J).

4.3. Selon les Normes Algériennes

Vu le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges-type y afférent. Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées.

Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce.

Tableau 18 : Normes de rejets pour l'irrigation (Normes Algériennes)

Paramètre	Unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
Ph	/	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O ₂ /l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO ₅	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO ₄)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20

Tableau 19 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO *(1985)	OMS **(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4 *		6,5-8,5
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O ₂ / l	< 40 **		90
DBO ₅	mg O ₂ / l	<10 **		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **		30
NO ₂ ⁻	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH ₄ ⁺	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	< 0,94 **		Non disponible

JORA : Journal Officiel De La République Algérienne.

OMS : Organisation mondiale de la Santé.

FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization).

5. TEXTES REGLEMENTAIRES EN RAPPORT AVEC LA PROTECTION DES RESSOURCES HYDRIQUES EN ALGERIE

Conformément aux dispositions des articles 48 à 51 de la loi n° 03-10 du 19 Jomada El-Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, les milieux hydriques et les écosystèmes aquatiques doivent être protégés contre toute forme de pollution susceptible d'altérer la qualité des eaux et de nuire à leurs différents usages.

Art. 44. — Les rejets d'effluents, les déversements ou les dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique sont soumis à une autorisation dont les conditions et les modalités d'octroi sont fixées par voie réglementaire.

Art. 45. — L'autorisation prévue à l'article 44 ci-dessus est refusée notamment lorsque les effluents ou matières sont de nature à nuire :

- à la capacité de régénération naturelle des eaux ;
- aux exigences de l'utilisation des eaux ;
- à la santé et la salubrité publiques ;
- à la protection des écosystèmes aquatiques ;
- à l'écoulement normal des eaux ;
- aux activités de loisirs nautiques.

Art. 46. — Sont interdits:

- tout déversement ou rejet d'eaux usées de toute nature dans les puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics, oueds à sec et canaux ;
- tout dépôt ou enfouissement de matières insalubres susceptibles de polluer les eaux souterraines par infiltration naturelle ou par recharge artificielle ;
- l'introduction de toutes matières insalubres dans les ouvrages et installations hydrauliques destinés à l'alimentation en eau ;
- le dépôt et/ou l'enfouissement de cadavres d'animaux dans les oueds, lacs, étangs et à proximité des puits, forages, galeries de captage, fontaines et abreuvoirs publics.

Art. 47. — Tout établissement classé, au sens des dispositions de l'article 18 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et notamment toute unité industrielle dont les rejets sont reconnus polluants doit impérativement :

- prévoir des installations d'épuration appropriées ;
- mettre en conformité leurs installations ou les procédés de traitement de leurs eaux résiduaires par rapport aux normes de rejet telles que fixées par voie réglementaire.

Art. 48. — Lorsque la pollution des eaux met en péril la salubrité publique, l'administration chargée des ressources en eau doit prendre toutes mesures exécutoires en vue de faire cesser les déversements d'effluents ou les dépôts de matières nuisibles. Elle doit également décider de l'arrêt du fonctionnement de l'établissement qui en est responsable, jusqu'à la disparition de la pollution.

Art. 49. — Les retenues d'eau superficielle ainsi que les lacs et les étangs menacés d'eutrophisation par suite de déversements d'effluents polluants font l'objet de plans de restauration et de protection de la qualité des eaux.

Ce plan comporte des mesures et des actions ayant pour objectif :

- la suppression des sources de pollution chronique, notamment à travers la réalisation de systèmes d'épuration des eaux usées urbaines et industrielles ;
- la prévention des risques de pollution accidentelle et la mise en place de dispositifs de lutte appropriés ;
- la mise en œuvre de toutes opérations techniques permettant de restaurer la qualité des eaux
- l'installation de dispositifs d'observation et de suivi des paramètres significatifs de la qualité des eaux et d'un système d'alerte anti-pollution.

Les conditions et modalités d'élaboration, d'approbation et de mise en œuvre des plans de restauration et de protection de la qualité des eaux sont fixées par voie réglementaire.

Art. 50. — Les objectifs de qualité auxquels doivent répondre les eaux souterraines ainsi que les écoulements et les retenues d'eaux superficielles destinées à l'alimentation en eau des populations sont fixés par voie réglementaire.

Art. 51. — L'inventaire périodique du degré de pollution des eaux souterraines et superficielles ainsi que les contrôles des caractéristiques des eaux de déversement ou de rejet sont effectués conformément aux dispositions des articles 49 et 50 de la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable, et aux textes réglementaires subséquents.

Art. 52. — Les caractéristiques techniques des systèmes d'épuration des eaux usées sont fixées par voie réglementaire en prenant en compte notamment les critères relatifs aux agglomérations, aux possibilités d'utilisation des eaux épurées, et aux risques de contamination et de pollution.

CHAPITRE 05

DIAGNOSTIC DES SYSTEMES HYDRAULIQUES (URBAINS)

1. INTRODUCTION :

Les réseaux d'assainissement peuvent, au bout de quelques années, présenter des anomalies susceptibles de perturber le fonctionnement du système d'évacuation, de restreindre la pérennité des ouvrages ou de nuire à l'environnement ;

La phase du diagnostic d'un système d'assainissement existant consiste à connaître son état et son fonctionnement et d'effectuer un ensemble d'opérations sur le terrain ; pour déceler les dysfonctionnements pouvant entraver sa bonne gestion et proposer les solutions qui s'imposent.

2. ETUDE DU DIAGNOSTIC

2.1. Définition du diagnostic en assainissement

Le diagnostic consiste en une analyse des documents accumulés ; pour comprendre les causes d'un dysfonctionnement, ses signes et ses symptômes, en vue de choisir un bon remède, une maintenance adaptée.

L'étude de diagnostic est un ensemble d'opérations effectuées sur le terrain, pour faire une mise au point sur l'état physiques ; le fonctionnement et les conditions d'exploitations du réseau d'assainissement existant, ce préalable est nécessaire pour établir des préconisations des travaux de réhabilitation.

2.2. Objectif de l'étude du diagnostic

Les diagnostics en assainissement sont des études préalables ou complémentaires d'aide à la décision qui ont pour but de dresser le bilan actuel de fonctionnement des systèmes d'assainissement, d'éliminer le maximum d'eaux parasites; de mettre en place les améliorations nécessaires au bon fonctionnement de ces systèmes et d'établir un programme des travaux à mettre en place.

Les études diagnostics ont pour objectif de proposer les solutions techniques les mieux adaptées à la collecte, au traitement et aux rejets dans le milieu naturel des EU d'origine domestique et ou industrielle en intégrant les aspects économiques et environnementaux ;

Ces études permettent de garantir à la population présente et à venir des solutions durables pour l'évacuation des EU, en tenant compte des objectifs de développement de l'urbanisme et des contraintes du site.

3. PHASES PRINCIPALES D'UNE ETUDE DE DIAGNOSTIC

La démarche à suivre consiste à appliquer, d'une manière plus ou moins fine, l'ensemble des techniques d'études disponibles, à travers une méthodologie dont les principales sont les suivantes :

3.1. Recueil et exploitation de données

Le recueil des données nécessite au préalable un scénario d'interventions de manière à ordonner au fur et à mesure de l'avancement, la prise des connaissances et les visites d'ouvrages.

En effet, tous les documents graphiques et les informations techniques s'y rapportant doivent être coordonnés et complétés par des contrôles in situ. On distingue :

3.1.1. Données de Base

Elles constituent l'ensemble des données nécessaires à un bon diagnostic, ce dernier étant l'acte qui vise à déterminer, dans un premier temps, la nature et les causes d'un dysfonctionnement, et dans un deuxième temps les conséquences qui en découlent. Elles sont répertoriées en

- Données relatives au réseau et ses ouvrages annexes,
- Le nombre d'habitants pour chaque sous bassin élémentaire et leur consommation en eau potable ;
- Données relatives à la collecte des eaux ;

3.1.2. Données d'Orientation

Elles sont relatives aux conséquences que peuvent avoir les différents dysfonctionnements : impact sur le bâti et les réseaux voisins, perturbation des usages en surface, pollution d'une nappe, etc... Elles sont qualifiées de données d'orientation car elles servent à définir les lieux et les types de pré-diagnostic à mettre en place. On distingue comme données d'orientation :

- **Signe**
Toute manifestation extérieure au réseau physique (structurel) ; comme par exemple, les plaintes des riverains et des usagers, les effondrements de chaussées, ... ;

- **Symptôme**
Toute marque intérieure au réseau physique, comme par exemple les fissures, les déboîtements, les effritements de l'enduit.

Les symptômes et les signes sont ceux qu'interprète un diagnostic, par les auscultations, pour trouver les causes d'un dysfonctionnement, ou d'une panne.

3.1.3. Facteurs de dégradations

Ils sont de deux types :

1) Facteurs externes à l'ouvrage (exogène)

Comprennent tous les facteurs qui jouent un rôle dans l'apparition de perturbations géotechniques, les contraintes de surface, ainsi que celles qui interviennent dans la transmission de ces dernières à l'ouvrage (type de sol, qualité et fluctuation du niveau de la nappe, qualité de l'interface sol-ouvrage, type de voirie et de circulation en surface, profondeur de l'ouvrage).

2) Facteurs de dégradation internes (endogène)

Sont l'ensemble des données relatives à l'ouvrage pris hors de son contexte environnemental : géométrie, matériau et type de construction, période de construction, type d'effluent, fonctionnement (mise en charge ou non), etc...

3.2. Le pré-diagnostic

Dans cette phase, et après recueil des données, un examen à entreprendre sur le réseau d'assainissement et les ouvrages tout en procédant à une mise à jour des plans et de cartographie des patrimoines.

Ce pré-diagnostic est destiné à découvrir les points faibles du système d'assainissement et à appréhender la sensibilité des milieux récepteurs.

3.3. Diagnostic et reconnaissance approfondie

Cette phase consiste à faire une reconnaissance approfondie et détaillée des réseaux et des ouvrages élémentaires dans le but de :

- Quantifier les fuites de pollutions dans le milieu récepteur et les exfiltrations vers la nappe, prise dans l'impact des rejets ;
- Détecter les apports des eaux parasites ;
- Rechercher l'origine d'éventuelles pollutions toxiques d'origine industrielles, des graisses, et des métaux lourds ;
- Vérifier la présence de l'H₂S aux débouchées des conduites. (le H₂S est un danger pour la santé public et attaque les matériaux constituant les ouvrages d'assainissement).

Cette phase d'étude représente un pas très important, car elle nous apporte les renseignements nécessaires de tout ce qui concerne le fonctionnement des réseaux et des ouvrages annexes.

3.4. Elaboration d'une stratégie de réhabilitation

Cette phase comprend les dispositions de réhabilitation, de restructuration et d'extension. D'autres dispositions particulières sont à étudier.

4. REHABILITATION DES RESEAUX ET OUVRAGES HYDRAULIQUES :

La réhabilitation des ouvrages se justifie lorsque leur état n'est pas suffisamment grave pour conduire à un remplacement complet, et que les conditions d'écoulement demeurent satisfaisantes. Les techniques de réhabilitation classiques qui exigent l'ouverture d'une tranchée provoquent de très nombreuses nuisances de plus en plus mal supportées par le public : bruit, poussières, impact visuel, trafic des camions et engins de travaux publics... Il a même été démontré que le coût social des tranchées à ciel ouvert pouvait aller jusqu'à doubler le prix réel du chantier, en quantifiant les détours imposés aux automobilistes, les pertes de chiffres d'affaires des commerçants et des recettes publiques.

La solution des techniques sans tranchée s'est donc imposée aux décideurs urbains.

Nous nous sommes donc intéressées à sept procédés de réhabilitation sans tranchée qui, s'ils ne sont pas tout à fait novateurs, améliorent les techniques antérieures.

Elles sont classées en trois catégories selon qu'elles permettent une réparation ponctuelle, une réhabilitation continue ou un remplacement de l'ouvrage défectueux.

Leur choix est fonction des caractéristiques du réseau (matériau, section), de la nature et de l'importance des désordres de structure, d'étanchéité et d'écoulement, mais également de critères économiques et environnementaux.

5. TECHNIQUES DE REHABILITATION :

Par **techniques de réhabilitation**, on entend « toutes mesures entreprises pour restaurer ou améliorer les performances d'un réseau existant ». Elles ont pour objectif de garantir une qualité de réalisation telle que la durée de vie de l'ouvrage ainsi réhabilité doit pouvoir être comparée, toutes choses égales par ailleurs, avec l'ouvrage neuf.

Les **techniques ponctuelles** réparent l'ouvrage localement, au droit de chaque dégradation, alors que les **techniques continues** permettent une réhabilitation complète du tronçon.

Les **techniques structurantes** reprennent les charges dynamiques et statiques appliquées sur le tuyau enterré (différentes pressions qui s'exercent, poids propres du tuyau et de l'eau véhiculée, réaction du sol).

Les **techniques non structurantes** ont essentiellement pour but de rétablir l'hydraulicité (élimination des obstacles empêchant ou réduisant l'écoulement normal du réseau) et l'étanchéité de la canalisation.

6. REPARATION PONCTUELLE

6.1. Robot Multifonction

Les robots multifonctions ou automates sont indispensables dès lors que l'on travaille dans les **canalisations de diamètre inférieur à 150 mm**. Ils permettent de **restituer à la conduite sa section nominale** par élimination des éléments gênant l'écoulement des effluents (branchements pénétrants, pénétration de racines, joints sortis, ou excroissance de mortier,...) et de **réparer ponctuellement des désordres de structure** (consolidation de la canalisation). Les robots **perforent les éléments entravant l'écoulement** de l'eau dans les canalisations.

En complément de sa mission de fraisage, il dispose d'équipement permettant de réaliser des étanchements par injection de résine acrylique ou le colmatage de fissures par application de résine époxy.

Les robots sont également employés pour colmater les fissures et les cassures ou pour rétablir l'étanchéité des branchements quand celle-ci s'avère défectueuse.



Photographies d'un Robot multifonction

Domaine d'utilisation

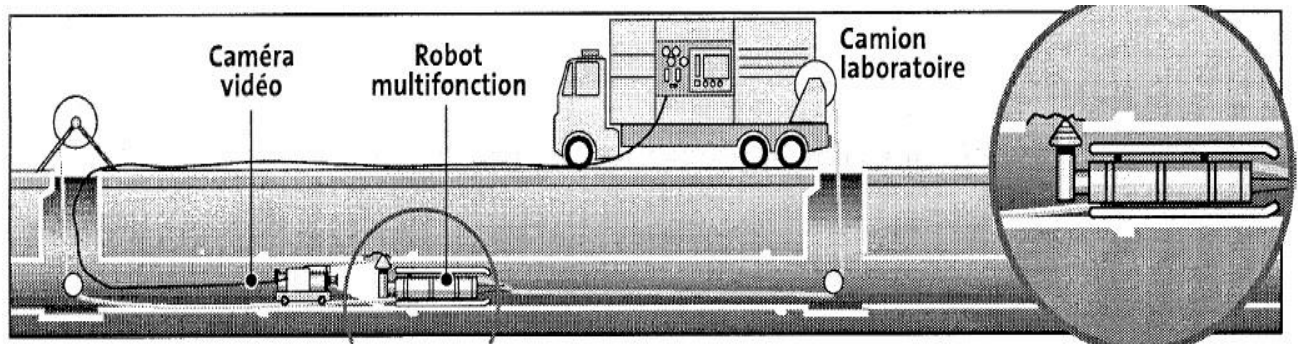
Cette technique de réhabilitation ponctuelle est employée **uniquement dans les collecteurs non visitables**. Elle peut être structurante ou non structurante selon les cas et permet :

- la suppression de tous les obstacles qui gênent l'écoulement de l'eau dans les canalisations (dépôts solides...)
- la préparation de l'espace d'accueil de la canalisation avant réhabilitation
- le colmatage par injection des perforations, fissures
- la réouverture des branchements après chemisage ou tubage
- la consolidation mécanique de la canalisation par la pose de tôles d'acier inoxydables destinées à assurer la restructuration des parties les plus endommagées.

Mise en œuvre

L'intervention de ces robots s'effectue sur la base d'**une inspection télévisée**. Il est procédé à un hydrocurage avant d'introduire le robot par un des regards du réseau.

Le robot s'adapte au diamètre de la canalisation et peut opérer à partir d'un diamètre de 150 mm. La réparation se déroule intégralement sous contrôle vidéo depuis le poste de pilotage du véhicule d'intervention. Enfin, il est possible de traiter 3 à 8 points par jour.



Technique du robot multifonction

Avantages

- Traitement des liaisons canalisations / branchements
- Outil polyvalent (collage de tôle en acier inoxydable possible)
- Précision

Inconvénients

- Coût du matériel
- Efficacité très dépendante de la compétence des opérateurs

6.2. La Manchette ou le chemisage partiel :

C'est un traitement ponctuel des réseaux circulaires ou ovoïdes en général non visitables, de diamètre 150 à 600 mm, et de tous types de matériaux.

Cette technique consiste à construire un tuyau neuf plaqué à l'intérieur de la canalisation dégradée, sans ouverture de tranchée, entre 2 regards.

Domaine d'utilisation :

La manchette, de longueur variable, permet de **corriger localement les faiblesses de structure et d'étanchéité** telles que les fissures multiples, les perforations, les joints déboîtés et / ou fuyards, les pénétrations de racines, les casses, la condamnation des branchements hors service...

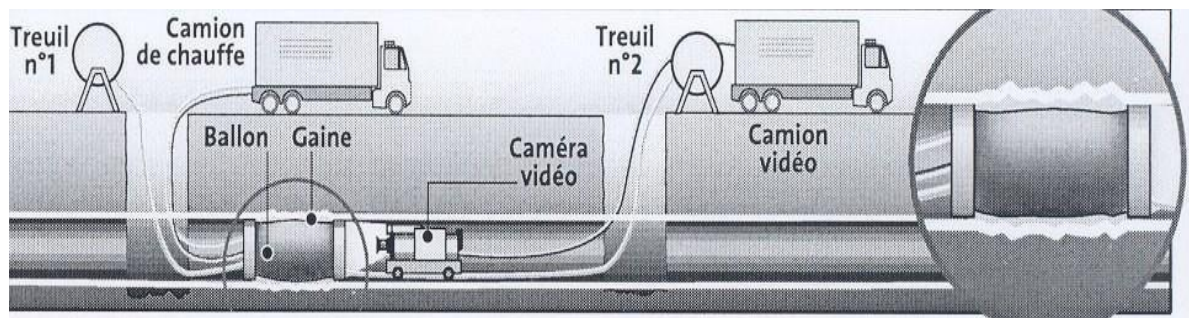
La manchette peut être **structurante, consolidante ou non structurante** selon les objectifs de la réhabilitation. Outre cette fonction mécanique, elle permet de rétablir l'hydraulicité et l'étanchéité de la canalisation, de même que lutter contre la corrosion et l'abrasion.

Mise en œuvre :

Après un curage soigné et une inspection télévisuelle, une gaine souple composée de tissu de verre ou de feutre et imprégnée de liants durcissant (résines époxydiques, polyester) appelée **manchette** est introduite dans la canalisation à l'aide d'un manchon (gonflable ou non) sous contrôle télévisé. Une fois la gaine plaquée contre la paroi, la résine est polymérisée par chauffage grâce à des résistances électriques placées dans le manchon.

Phases des travaux

- ✓ Imprégnation de la manchette en atelier ou sur site
- ✓ Introduction du manchon par traction
- ✓ Mise en place du manchon au droit du défaut à traiter
- ✓ Gonflage éventuel du manchon
- ✓ Polymérisation de la résine et durcissement
- ✓ Dégonflage éventuel et dégagement du manchon
- ✓ Renouvellement de l'opération au défaut suivant
- ✓ Inspection télévisée ou visuelle d'autocontrôle
- ✓ Remise en service du réseau en cas d'interruption



Elaboration d'un chemisage partiel

Avantages

- Pas d'espace annulaire (pas d'espace entre les tuyaux)
- Grande rapidité de mise en œuvre
- Sous réserve que le niveau d'eau ne soit pas très important, il est possible de procéder au chemisage ponctuel sans interruption du réseau

Inconvénients

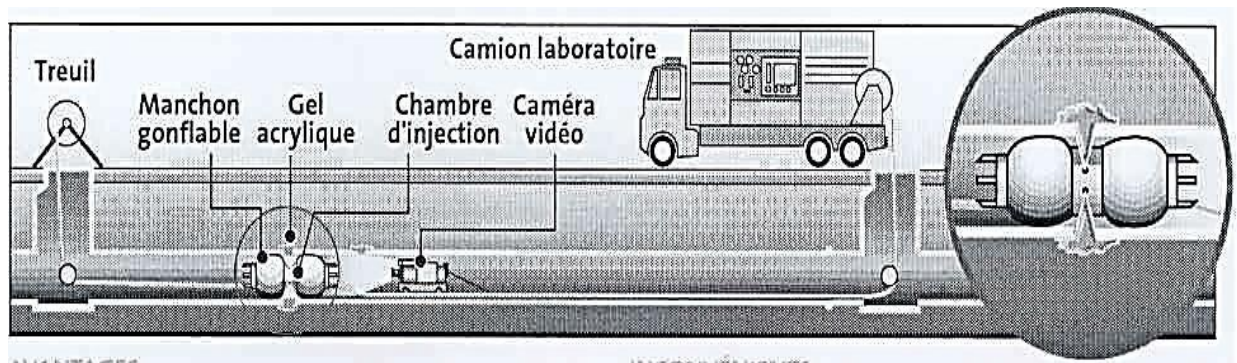
- Implique un stockage ou une dérivation des effluents
- Ovalisation maximale de 8 %
- Manipulation délicate
- Gamme de diamètres limitée
- Non applicable aux défauts de masse et de surface

6.3. Etanchement par Injection

Cette technique non structurante consiste à injecter de la résine depuis l'intérieur des ouvrages à travers le matériau.

Domaine d'utilisation

Elle peut être utilisée dans les réseaux circulaires de 150 à 900 mm de diamètre, et permet d'améliorer les caractéristiques physiques des matériaux constitutifs de l'ouvrage. Elle est adaptée à la majorité des matériaux existant.



Réalisation d'un étanchement

Avantages

- Ce procédé permet de combler sans difficulté les vides extérieurs.
- La résine d'étanchéité est élastique et adhérente, ce qui garantit une qualité de réalisation telle que la durée de vie de l'ouvrage réhabilité soit comparable à l'ouvrage neuf.
- C'est aussi une technique peu onéreuse.

Inconvénients

- L'injection par étanchement n'est pas adaptée aux détériorations importantes du réseau, aux coudes et aux rétrécissements trop importants (problèmes d'accessibilité).
- C'est un procédé non structurant.

7. REHABILITATION CONTINUE

7.1. le chemisage continu

Cette technique consiste à insérer à l'intérieur du collecteur dégradé une **enveloppe souple** constituée d'une armature souple fortement imbibée d'une résine, et ce sans laisser subsister d'espace annulaire.

Domaine d'utilisation

C'est un traitement pour les réseaux circulaires de diamètre 100 à 2000 mm, en général non visitables, de tous types de matériaux.

De nature généralement structurante, le chemisage continu peut également être employé en non structurant pour **remédier aux problèmes d'étanchement, de corrosion ou d'abrasion**.

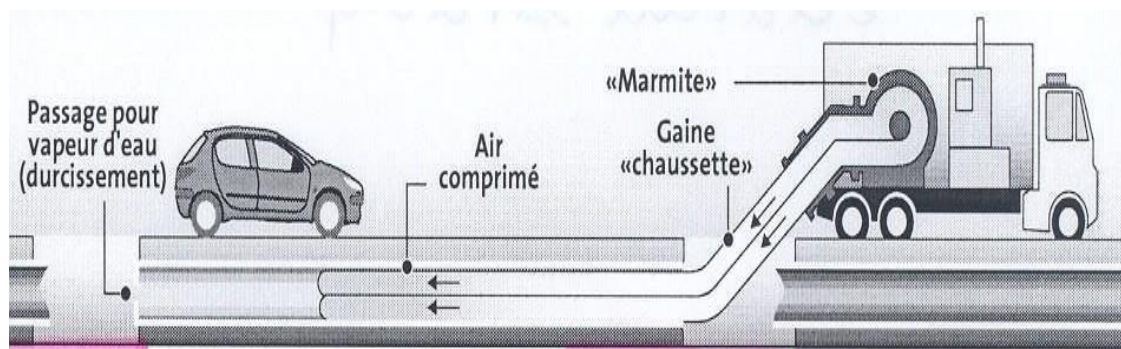
Mise en œuvre

La mise en œuvre du chemisage se fait le plus souvent **par réversion = inversion** (« chaussette ») en faisant avancer une gaine souple imprégnée de résine dans l'ancienne canalisation par air comprimé et en la plaquant contre la paroi. Le **durcissement** est obtenu par chauffage avec de la vapeur ou de l'eau chaude. Cette technique consiste à introduire, en la retournant, une gaine souple imprégnée de résine à partir d'un regard de visite, au moyen d'air comprimé (ou d'eau) qui plaque la gaine contre la paroi. La gaine est ensuite polymérisée en place grâce à la circulation de vapeur sous pression ou par le chauffage de l'eau.

Une autre méthode, le chemisage continu **par traction**, consiste à tirer la gaine dans la canalisation, puis à la gonfler. Le durcissement peut alors être obtenu grâce à un robot émettant des UV. La gaine est mise en place à l'aide d'un **treuil** qui la tire d'un regard au regard suivant. La mise en pression de l'ensemble est ensuite réalisée à l'air. Dès lors que la gaine épouse parfaitement la forme de la canalisation, il est procédé à son durcissement par polymérisation au moyen de lampes UV ou d'une autre méthode.

Phase des travaux

- Imprégnation de la chemise
- Dérivation ou stockage des effluents
- Introduction de la chemise par traction ou inversion
- Polymérisation de la résine et durcissement
- Autocontrôle de l'étanchéité
- Découpage et raccordement des extrémités de la chemise
- Réouverture des branchements
- Inspection télévisée ou visuelle d'autocontrôle
- Remise en service de l'ouvrage sans délai d'attente



Elaboration d'un chemisage continu

Avantages

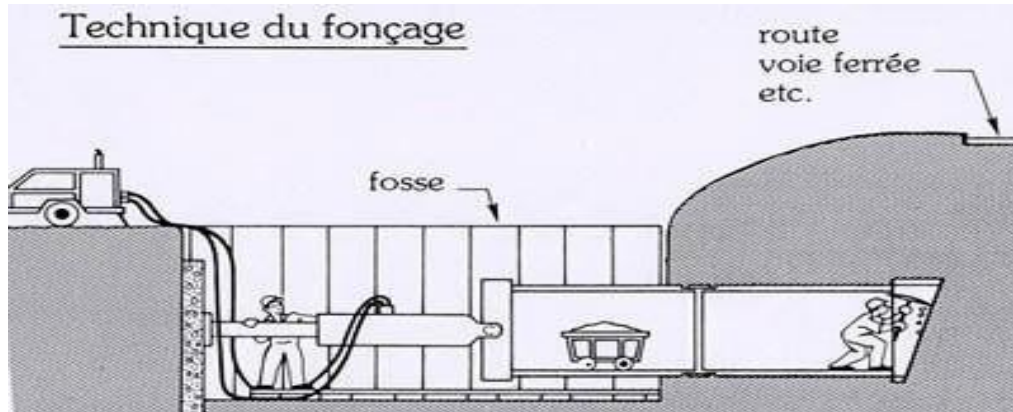
- Emprise réduite à un semi-remorque
- Pas d'espace annulaire
- Application sur de très grandes longueurs, en présence de coudes, de rétrécissements...
- Réparation structurante possible
- Mise en œuvre rapide
- Particulièrement adapté pour des terrains mous

Inconvénients

- Stockage ou dérivation des effluents nécessaires
- Manipulation délicate
- Risque de brûlure ou d'absence de polymérisation avec un durcissement aux UV
- Techniques dépendant de la nature des effluents (pH compris entre 5.5 et 8.5, température maximale de 30°C)
- Ovalisation maximale de 8 % du diamètre nominal de la canalisation
- Limite de décalage de 8 à 10 % du diamètre nominal pour éviter les efforts de cisaillement.

7.2. Le Fonçage

Le fonçage « pousse tube » nécessite un pousse tube pneumatique ou un pousse tube à vérin qui est un dispositif permettant de **poser des tubes et des conduites sous terre, sans ouverture de tranchée.**



Emploi à la verticale



Pousse tube pneumatique

Domaine d'utilisation

Le **fonçage horizontal hydraulique** consiste à introduire des gaines de protection de diamètre nominal de 1200 à 2200 mm. Il permet le maintien de la circulation sans détérioration de la structure des voies de roulement. L'opération consiste à pousser une **gaine en béton armé ou en PRV** (Polyester Renforcé de Verre) dans le sol et à extraire les déblais au fur et à mesure par système de wagonnets.

Dans le cas du **fonçage horizontal pneumatique**, les gaines de protection ont un diamètre nominal de 200 à 2000 mm. Ce procédé permet également de maintenir la circulation sans détérioration de la structure des voies de roulement. L'opération consiste à pousser une **gaine en acier** dans le sol et à extraire les déblais à l'aide d'une hydrocureuse ou d'une vis sans fin en laissant un bouchon important à l'avant de la gaine.

Mise en œuvre

En **fonçage horizontal hydraulique**, la gaine est fixée dans la couronne de poussée et est maintenue par le guide tube, cela permet de transmettre la poussée et de centrer la gaine sur le rail de guidage. Une trousse coupante réglable est fixée sur la première gaine dont le rôle est de protéger intérieurement et extérieurement l'extrémité de la gaine. L'abattage en front se fait soit mécaniquement, soit manuellement, mais toujours à l'intérieur de la trousse coupante. Les déblais sont évacués dans le puits de travail par des wagonnets montés sur rail ou mini chargeur. Lorsqu'une gaine est enfoncée, la suivante est mise en place et emboîtée, et une longueur équivalente de rails est rajoutée. L'opération se déroule jusqu'à ce que la trousse coupante atteigne le puits d'arrivée. Les déviations en axe et en niveau sont vérifiées avec le laser et rectifiées à l'aide de la trousse coupante réglable. Lorsque la pression sur les tuyaux est trop importante, une injection de bentonite est réalisée afin de diminuer les frottements. La station intermédiaire de poussée est installée entre 2 tuyaux si besoin.

La méthode du **fonçage horizontal pneumatique** est similaire à celle du **fonçage horizontal hydraulique**. La gaine est fixée dans la couronne de poussée et est maintenue par le guide tube, pour transmettre la poussée et centrer la gaine sur le rail de guidage. Un collier d'attaque est soudé sur la première gaine dont le rôle est de protéger intérieurement et extérieurement l'extrémité de la gaine. Le tuyau est enfoncé dans le sol par battage pneumatique du tube. Les déblais sont évacués dans le puits de travail par des vis sans fin ou par hydrocureuse. Lorsqu'une gaine est enfoncée, la suivante est mise en place et soudée. L'opération se poursuit jusqu'à ce que le collier d'attaque débouche dans le puits d'arrivée. A ce moment-là, le tuyau est vidé et nettoyé sur toute sa longueur.

Avantages

- Des pousses tubes courts conviennent particulièrement pour les travaux en ville.
- Des chantiers délicats, tels qu'une traversée de voie ferrée, se font sans gêne pour le trafic.
- Ils sont d'un emploi universel même à la verticale pour des pieux, des palplanches...
- Ils sont compatibles avec tous les types de sols (argiles, limons, sable, graviers, pierres, cailloux) sauf avec les roches.
- Des passages sous des canaux sur plus de 100 m de distance se font couramment, la nappe phréatique ne posant pas de problème.
- Ils sont utilisés mondialement pour répondre aux problèmes les plus ardues comme lors de la pose d'un tunnelage (= toit de tubes) sous une voie ferrée importante.
- Les pousses tubes pneumatiques n'ont pas besoin d'un massif d'appui.

Inconvénients

- Trajectoire courbe impossible (on ne peut pas contourner les obstacles)
- Pas applicable dans tous les sols (non caillouteux préférable)

7.3. Le Forage Dirige

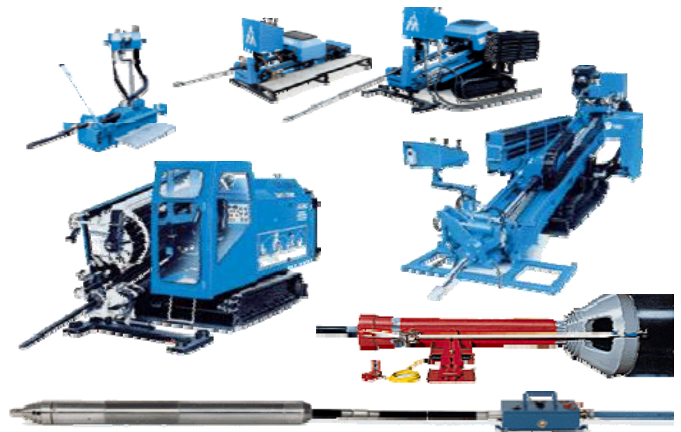
Longtemps réservé aux franchissements de rivières, de routes ou de voies ferrées, le forage dirigé a franchi une étape importante en conquérant peu à peu les **centres urbains**.

Domaine d'utilisation

La spécificité de cette technique est de **construire des réseaux souterrains sans l'ouverture de tranchées, quelle que soit la nature des sous-sols.**

De plus, elle permet d'installer des conduites pouvant atteindre jusqu'à **1200 mm de diamètre**. Elle offre également la possibilité d'**effectuer des forages** allant jusqu'à 1800 mètres de longueur (ce qui varie selon les conditions du sol et le diamètre requis).

Avant toutes interventions, des sondages sont effectués pour évaluer toutes les difficultés possibles et déterminer la trajectoire du forage.

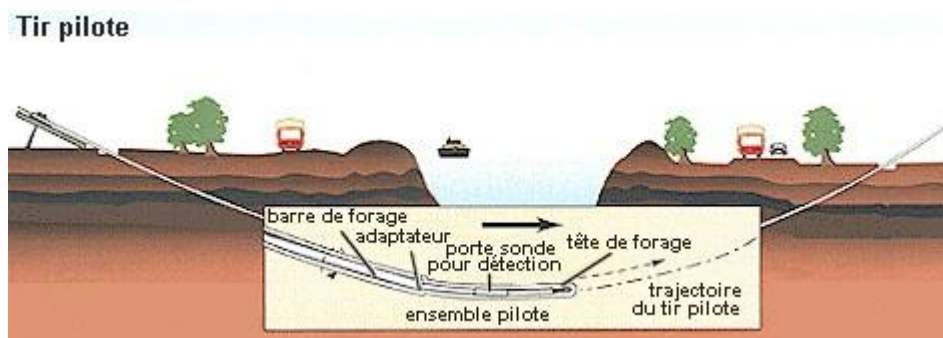


Différents types de foreuses dirigées

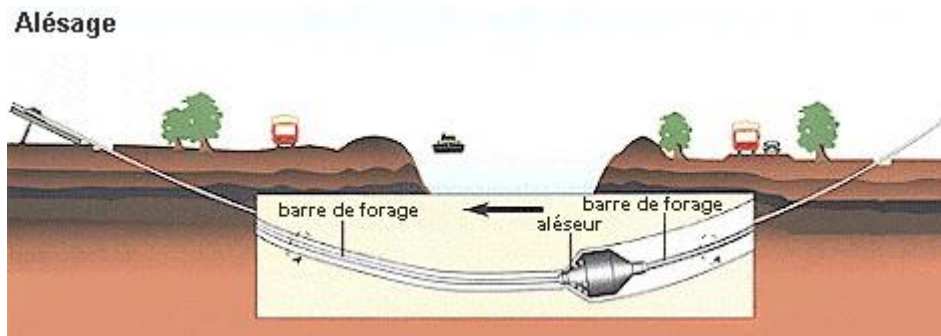
Mise en œuvre

Le forage dirigé permet d'installer une conduite sous un obstacle sans perturber le milieu environnant. Contrairement à la technique de forage horizontal, la **trajectoire courbe** d'un forage dirigé permet de faire passer la conduite sous des obstacles en partant de la surface et quels que soient la nature de l'obstacle à contourner et le diamètre de la conduite à installer. Les étapes du forage dirigé sont les suivantes :

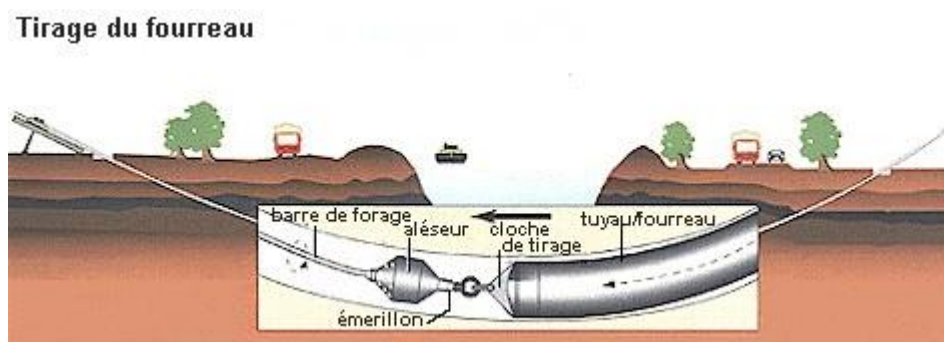
1. Mise en place
2. Tir pilote pour le premier passage



3. Alésage (agrandissement du trou fait par tir pilote)



4. Passage du tube dans le forage



5. Repli et nettoyage

Avantages

Discret

- ✓ Aucune fouille au départ n'est nécessaire
- ✓ Gêne minimum de la circulation, des piétons et des commerces
- ✓ Sans aucune nuisance sonore

Ecologique

- ✓ Environnement préservé grâce à l'absence de tranchée
- ✓ Enfouissement des réseaux
- ✓ Utilisation de produits naturels
- ✓ Pas de désagrément pour la faune et la flore, dans les sites protégés.

Fiable et précis

- ✓ Capacité de diriger la tête de forage et d'éviter les obstacles : réseaux, bâtiments...
- ✓ Une étude géoradar et des analyses de sol améliorent très nettement le taux de réussite
- ✓ Possibilité de détection à distance, assistée par ordinateur

Rapide

- ✓ Durée des chantiers inférieure par rapport aux méthodes traditionnelles

Economique

Coût économique par rapport aux solutions classiques de tranchées ouvertes suppression des coûts indirects des tranchées : coupure du trafic, remise en état, gêne des commerçants ou usagers, affaissement post-travaux des tranchées.

Dans certains cas, possibilité d'un linéaire de canalisations plus faible puisque les deux points sont reliés en ligne droite.

Inconvénients

- ✓ Cette technique s'applique surtout dans les sols ne comportant ni cailloux, ni blocs (argile, sable).

Du franchissement d'infrastructure autoroutière à l'assainissement, aux canalisations destinées à l'alimentation des villes, le forage dirigé intervient dans de nombreux domaines d'activités qui réclament des solutions **techniques innovantes et en constante évolution**, mais également une **forte adaptabilité**. En vue des normes environnementales de plus en plus draconiennes, le forage dirigé obéit à ces normes en étant réputé **discret** et **économiquement rentable**. En effet, il permet de réaliser des travaux d'envergure sans pour autant nuire à l'esthétique du milieu et à son environnement (réduction des terrassements ou des nuisances sonores).

Ainsi, les travaux réalisés jusqu'à ce jour ont démontré que l'utilisation du forage dirigé pour le remplacement de conduites est une solution qui permet de réduire non seulement l'impact des travaux pour les citoyens mais aussi de réduire le coût des travaux.

7.4. Le Tubage

Cette technique consiste à mettre en place dans la canalisation à réhabiliter une nouvelle conduite d'un diamètre inférieur. Cette réhabilitation permet de maintenir, d'améliorer ou de rétablir les performances de l'ouvrage existant afin de garantir :

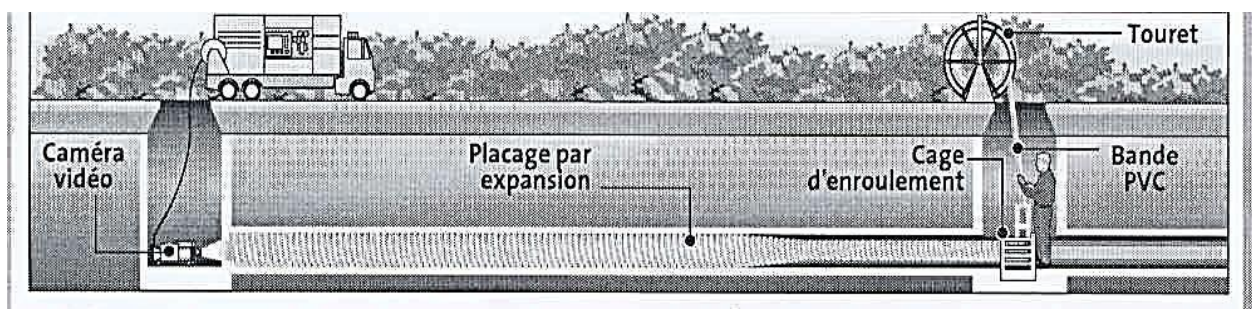
- la résistance mécanique
- la capacité hydraulique
- l'étanchéité
- l'anticorrosion

Domaine d'utilisation

Le tubage peut s'effectuer sur une partie ou sur la totalité des collecteurs. Il s'applique à des ouvrages visitables et non visitables selon les composants utilisés.

Sont concernés les ouvrages de toutes sections, de toutes natures, et véhiculant des eaux de toutes sortes : eaux usées, industrielles ou pluviales.

Tubage par enroulement hélicoïdal



Réalisation d'un tubage hélicoïdal

Cette technique s'emploie couramment sur des diamètres de **150 à 2500 mm**.

Cette technique consiste en la fabrication in situ d'un tuyau par enroulement hélicoïdal d'un profilé spécial assemblé par clipsage.

L'espace entre la canalisation existante et le tube est rempli par injection de coulis. L'épaisseur du coulis est ajustée en fonction de la résistance mécanique à obtenir et de la section finale désirée. Pour les réseaux non visitables, un robot multifonction assure perçage, alésage et étanchement des branchements.

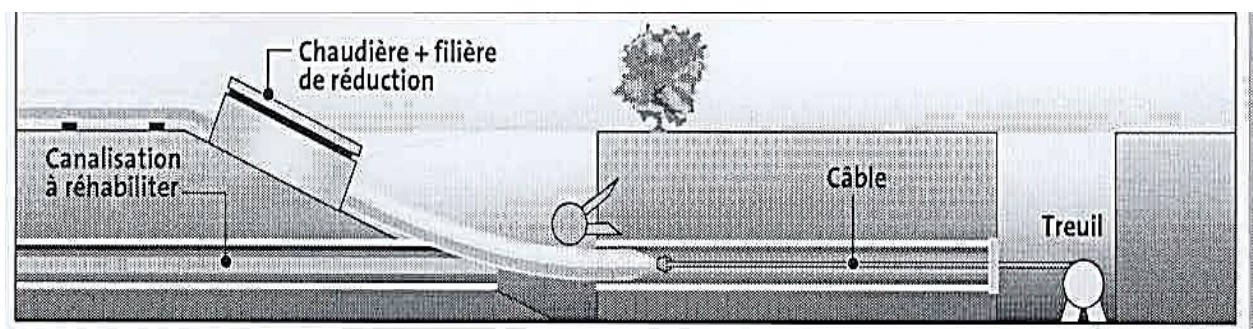
Avantages

- L'emploi du PVC permet de travailler à moindre coût.
- C'est une réparation structurante.

Inconvénients

- Il peut y avoir un espace annulaire à remplir.
- Les branchements sont difficiles à faire en non visitable et il faut utiliser un robot multifonction.

Tubage par tuyaux pré-déformés ou tubage par tuyaux continus



Elaboration d'un tubage par tuyaux continus

Cette technique s'applique principalement dans les ouvrages non visitables de diamètre de **150 à 800 mm**.

C'est un tubage par tuyau continu sans espace annulaire. Cette technique consiste à insérer par traction une section cylindrique déformée en usine.

Le tube est introduit dans la canalisation à l'aide d'un treuil. Il reprend ensuite sa forme initiale et se plaque contre la paroi interne de la canalisation existante, soit de manière spontanée, soit par mise sous pression.

Avantages

Cette technique est applicable sur de très grandes longueurs, dans des conduites présentant de nombreux désordres. Il n'y a pas d'espace annulaire à remplir. C'est aussi une réparation structurante.

Inconvénients

- ✓ Le tronçon réhabilité est hors service.
- ✓ Il faut un accès aux deux extrémités.

8. REMPLACEMENT :

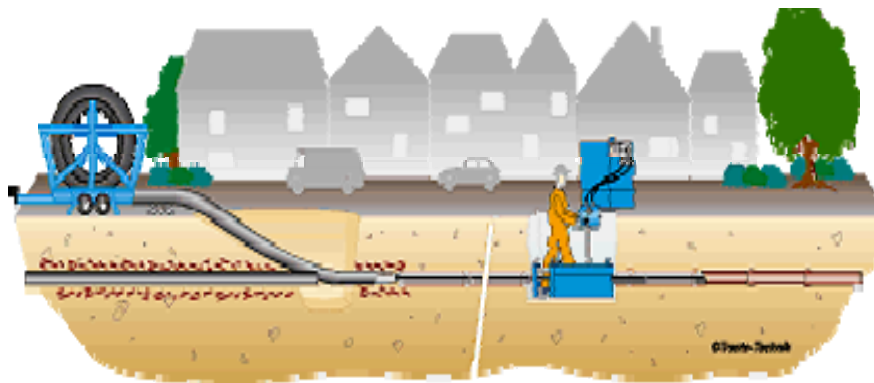
8.1. L'éclatement

L'ensemble des tuyaux neufs est mis en place dans la continuité de l'éclate tuyau qui détruit l'ancienne conduite à l'avancement et repousse les débris dans le terrain environnant (éclatement statique ou dynamique).

Il est donc possible de mettre en place des tubes de section nominale (fonction du diamètre nominal) identique voire même supérieure. **L'éclatement de l'ancienne canalisation** est réalisé à partir d'un éclateur hydraulique (écartement de pétales à pression hydraulique, sans vibration), d'un cône d'éclatement (simple, muni d'une lame coupante ou de galets coupants) ou d'une fusée d'éclatement (éclatement par percussion). Ces derniers sont tirés dans la conduite à éclater à l'aide d'un treuil ou de vérins. Le **tuyau en PEHD** (PolyEthylène Haute Densité) est mis en place à la suite. L'assemblage se fait ensuite de façon mécanique ou par soudage.

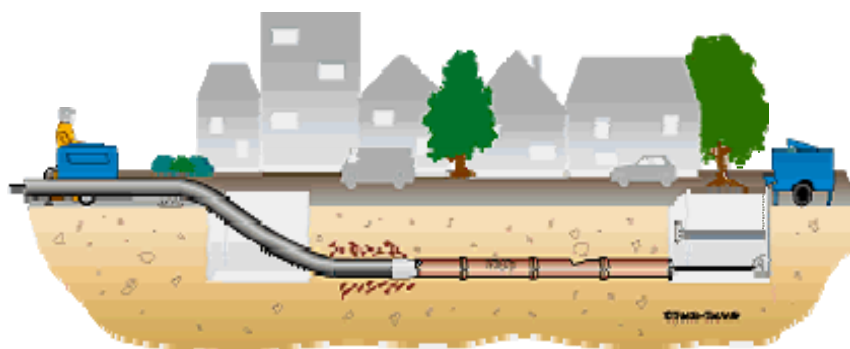
Eclatement statique

L'éclatement statique est recommandé pour le renouvellement de conduites de gaz ou de canalisations d'eau dans des sols sensibles avec des réseaux ou des constructions existants



Eclatement dynamique

Lors du système d'éclatement dynamique sans tranchée, l'ancienne canalisation en grès, plastique ou béton armé est éclatée, détruite et un nouveau tube court ou long PEHD d'un diamètre supérieur est entraîné en même temps. De fortes courbures ou dérivations nécessitent des fouilles intermédiaires. Le départ et l'arrivée peuvent également être des regards de révision.



Domaine d'utilisation

- La statique de l'ancienne canalisation est compromise
- Une réparation / assainissement n'est plus possible
- il y a des remblais, fissures, manques de couches ou effondrements partiels
- la capacité hydraulique doit être améliorée
- un nouveau tube avec un nouveau potentiel d'usure est souhaité

Mise en œuvre

- Remplacement d'une canalisation d'eau en fonte de 250 mm par une canalisation en Polyéthylène Haute Densité (PEHD) de 280 mm sur une longueur de 120 mètres, à 1.2 m de profondeur. L'éclatement des 120 mètres dure en général une journée.
- L'éclate tuyau peut être soit poussé, soit tiré à l'intérieur de la canalisation. Il permet de **réhabiliter des canalisations de diamètre nominal 100 à 1000 mm** et sa capacité d'avancement est de 100 à 150 m par semaine.
- Le matériel est essentiellement constitué d'une foreuse, d'un compresseur, d'un éclateur pneumatique. **L'éclateur pneumatique est un système de réhabilitation de conduites par éclatement adaptable sur une foreuse dirigée.**

Dans un premier temps, la tête de forage et le train de tiges sont guidés dans la canalisation à remplacer au niveau d'une fouille ou d'un regard. Lorsque l'ensemble est arrivé à la fouille de sortie (ou regard suivant) la tête de forage est remplacée par l'éclateur pneumatique.

Ensuite, un compresseur (8 à 20 m³) est alors branché sur la foreuse au niveau du joint tournant et l'air sous pression parvient via les tiges dans l'outil, produisant l'impact destructeur, comme une fusée pneumatique. L'ancienne canalisation va ainsi être détruite par éclatement, les débris étant repoussés dans le sol et une nouvelle, en PEHD va être mise en place par traction au cours de la même opération. Elle pourra être d'un diamètre légèrement supérieur.



Canalisation à remplacer au niveau d'une fouille ou d'un regard

Conclusion :

Ces techniques sans tranchée sont encore sous utilisées en France contrairement à l'Allemagne, la Grande Bretagne et le Japon, d'où proviennent la quasi-totalité des techniques et des équipements. Les travaux souterrains coûtent chers mais les avantages sont importants. En effet, les processus sont rapides, il y a peu de remblais sur le chantier, pas de tassements ultérieurs et de risques sur les constructions.

L'avantage majeur de ces nouvelles techniques est qu'elles tendent à minimiser les conséquences de risques principalement hydrologiques, géotechniques et risques hydrauliques de part leur mise en œuvre mais aussi de part la composition et la résistance de leurs matériaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Remini B., Hallouche W., 2003. Les barrages du Maghreb face au phénomène de l'envasement, Revue VECTEUR Environnement (Canada). Novembre, Vol 36 no 6, pp. 27-30.
2. C. Maksimovic et J.A.Tejada- Cuibert, "Les nouvelles frontières de la gestion urbaines de l'eau", 2001.
3. Directive d'exploitation des réseaux publics d'assainissement des eaux. Version 1.1 février 2009, 35p.
4. Kirda, C. 1997. Assessment of Irrigation Water Quality. CIHEAM – Options Mediterranean, 367–377.
5. J.Rodier, 1980. L'analyse d'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod technique, France, p925-953.
6. Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). N° 41, 15 juillet 2012.
7. Yahiaoui Fadila, Réhabilitation des réseaux d'assainissement visitables et non visitables, Ecole supérieure des géomètres et topographes, 10 juillet 2000.
8. Herve Jérôme, Huit techniques sans tranchée pour réhabiliter vos réseaux. Le Moniteur, 15 février 2002.
9. Rerau, "Restructuration des collecteurs visitables tome 1 et 2" Lavoisier Paris 2002 et 2004.
10. Grondin Benoit, Forage dirigé : Rougement opte pour la solution la plus économique et la moins gênante, Infrastructures, Octobre / Novembre 2002.