

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued

Faculté de la Technologie

Département d'Hydraulique et de Génie Civil



Cours du module

Pollution des eaux

Par Bouchemal Fattoum

Maître de Conférences -B-

A l'Université Echahid Hamm Lakhdar -El Oued-

Année Universitaire 2020/2021

Avant-propos

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement, tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau. C'est une substance unique parce qu'elle se renouvelle et se nettoie naturellement en permettant aux polluants de s'infiltrer ou de se détruire, en diluant les polluants au point qu'ils aient des concentrations qui ne sont pas nuisibles. Cependant, ce processus naturel prend du temps et devient très difficile lorsqu'il y a une quantité importante de polluants qui sont ajoutés à l'eau.

La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques, ainsi que la flore et la faune terrestre.

La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs, est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou avec un niveau de traitement insuffisant. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique beaucoup plus prononcé.

Le présent cours est destiné aux étudiants de deuxième année Master hydraulique et qui a pour objectif de donner un état de connaissances dans le domaine de la pollution, en particulier la pollution des eaux.

Ce cours a pour objectifs de donner aux étudiants en Master un aperçu sur :

- 1- La pollution des eaux en milieu urbain ;
- 2- Les normes algériennes de rejet ;
- 3- Les moyens et procédés de mesure de la pollution.

Bouchemal Fattoum,

Juillet 2020

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour l'homme, sa survie et son alimentation. Elle est également indispensable pour ses activités agricoles, industrielles, touristiques et la qualité de son environnement. Lorsque l'homme utilise l'eau, il ne fait pas que la consommer, mais il en rejette une partie dans l'environnement.

La pollution est une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu.

La pollution d'un milieu est le fait d'introduire une substance ou de la matière susceptibles de porter atteinte à son fonctionnement, à la biodiversité qui s'y déploie ou à la santé des êtres humains. Elle entraîne une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement. En revanche, tous les rejets ne sont pas synonymes de pollution : lorsque les substances sont éliminées par les capacités naturelles d'autoépuration du milieu, elles n'ont pas de conséquence sur l'environnement ou la santé.

On appelle pollution de l'eau toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants la consommant. Quand les êtres humains consomment de l'eau polluée, il y a en général des conséquences sérieuses pour leur santé. La pollution de l'eau peut aussi rendre l'eau inutilisable pour l'usage désiré.

La pollution n'est pas toujours visible. L'eau d'une rivière ou d'un lac peut sembler propre, même si elle est encore polluée. Dans les eaux souterraines, sur lesquelles la population compte pour s'approvisionner, les polluants sont particulièrement difficiles à détecter. En outre, les effets de la pollution ne sont pas nécessairement immédiats ; ils peuvent prendre des années à se manifester.

Il est parfois difficile de déterminer si une pollution est ponctuelle ou diffuse, mais il est utile de les catégoriser ainsi, car les manières d'y remédier ne sont pas les mêmes. Certaines sources de pollution peuvent être localisées dans l'espace, lorsque les rejets de substance ou de matière sont générés directement dans l'eau ou les milieux :

C'est le cas par exemple des rejets directs d'une usine dans un cours d'eau, mais aussi lors d'un déversement accidentel et involontaire. La pollution générée par ces rejets est qualifiée de **pollution ponctuelle**. À l'inverse, certaines sources de pollution ne peuvent pas être localisées précisément : ce sont les **pollutions diffuses**. C'est notamment le cas des pollutions provoquées par les traitements appliqués sur les sols et la végétation. Mais toutes les substances contenues dans les matériaux au contact de l'eau (peintures, revêtements, etc.) sont susceptibles de se répandre lentement dans l'eau et contaminer ainsi les ressources en eau.

Le présent document permet de donner un aperçu sur le phénomène de la pollution des eaux et son effet sur la vie aquatique. Cette pollution affecte la faune et la flore, et perturbe l'écosystème aquatique. Cette pollution se manifeste à partir de plusieurs sources : domestiques, urbaines, agricoles et industrielles.

La pollution par les eaux usées urbaines constitue un danger pour la vie des êtres vivants et surtout sur la santé humaine. A cet effet, la réglementation impose des normes de rejet, dans les eaux superficielles comme dans le sol et le sous-sol suivant différents types de dispositifs d'épuration et de rejets.

Par contre, dans le cas de la pollution des eaux pluviales, plusieurs paramètres entrent en jeu, la restauration de la qualité des eaux par les méthodes de réduction de la pollution en utilisant plusieurs méthodes, essentiellement la gestion intégrée des eaux.

Sommaire

Partie I : Eaux usées urbaines

Chapitre I : Pollution et vie aquatique

I.1. Introduction	01
I.2. Définition de la pollution	01
I.3. Classification des termes concernant la pollution	05
I.3.1. Classification selon le type de polluant	06
I.3.1.1. Pollution physique	06
I.3.1.2. Pollution chimique	06
I.3.1.3. Pollution biologique	07
I.3.2. Classification selon l'origine de la pollution	08
I.3.2.1. Pollution domestique	08
I.3.2.2. Pollution urbaine	09
I.3.2.3. Pollution agricole	10
I.3.2.4. Pollution industrielle	10
I.4. Nature de la pollution	12
I.4.1. Pollution organique	13
I.4.2. Pollution microbiologique	13
I.4.3. Pollution minérale	13
I.5. Degré de la pollution	13
I.5.1. Influence de la pollution sur la vie aquatique	13
I.5.2. Phénomène d'Eutrophisation	16
I.5.2.1. Définition	16
I.5.2.2. Les cause d'Eutrophisation	18
I.6. Conclusion	21

Chapitre II : Conséquences et paramètres de la pollution

II.1. Introduction	22
II.2. Conséquences de la pollution	22
II.2.1. Conséquences sanitaires	22
II.2.2. Conséquences écologiques	22
II.2.3. Conséquences esthétiques	23
II.2.4. Conséquences agricoles	23
II.2.5. Conséquences industrielles	23
II.3. Paramètres de la pollution	24
II.3.1. Paramètres physiques	25
II.3.1.1. Matières en suspension (MES)	25
II.3.1.2. Température	25
II.3.1.3. Conductivité	25
II.3.1.4. Les matières volatiles en suspension (MVS)	25
II.3.2. Paramètres chimiques	25
II.3.2.1. Demande Biochimique en Oxygène (DBO)	25
II.3.2.2. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	26
II.3.2.3. Matières oxydables (MO)	26
II.3.2.4. Le pH	26
II.3.2.5. Le carbone organique total (COT)	26
II.3.2.6. Les sels nutritifs	26

Sommaire

A- Le phosphore	27
B- L'Azote	27
II.3.3. La biodégradabilité	28
I.4. Conclusion	28
Chapitre III : Méthodes de quantification et normes de rejets	
III.1. Introduction	29
III.2. Quantification (moyens et méthodes)	29
III.2.1. Détermination de la conductivité électrique	29
III.2.2. Détermination du Potentiel d'Hydrogène pH	30
III.2.3. Détermination de l'oxygène dissous	30
III.2.4. Détermination de la température	31
III.2.5. Détermination des matières en suspension (MES)	31
III.2.6. Mesure de la demande chimique en Oxygène DCO	33
III.2.7. Mesure de la demande Biochimique en Oxygène DBO ₅	34
III.2.8. Relation entre la DCO et la DBO pour la détermination de la quantité d'eau à analyser en faveur de la DBO ₅	35
III.2.9. Mesure des paramètres NH ₄ ⁺ et NO ₂ ⁻ et NO ₃ ⁻	36
III.2.9.1. Ammoniac NH ₄ ⁺	36
III.2.9.2. Nitrate NO ₃ ⁻	37
III.2.9.3. Nitrite NO ₂ ⁻	38
III.2.9.4. Phosphate PO ₄ ³⁻	39
III.2.10. Azote total	40
III.3. Normes de rejets	41
III.3.1. Norme de rejet des effluents urbains	41
III.3.2. Norme de rejet des effluents industriels	42
III.4. Conclusion	43
Partie II : Eaux pluviales	
Chapitre I : Pollution des eaux pluviales	
I.1. Introduction	44
I.2. Caractérisation des eaux pluviales	47
I.3. Méthodes utilisables pour la réduction de la pollution	50
I.3.1. Les principes d'une gestion intégrée de l'eau	50
I.3.1.1. Vous pouvez restreindre la collecte des eaux pluviales... ..	50
I.3.1.2. Vous pouvez limiter le ruissellement à la source	50
I.3.1.3. Vous devez réguler les flux collectés	51
I.3.1.4. Pour piéger la pollution à la source, la décantation et la filtration constituent le traitement le plus efficace	51
I.3.2. Principes pour limiter la pollution des eaux pluviales et leur impact sur les milieux aquatiques	51
I.3.2.1. Agir à la source	53
I.3.2.2. Favoriser la décantation et la filtration	53
I.3.2.3. Limiter la concentration des polluants aux points de rejets	54
I.3.2.4. Préférer les solutions faciles à contrôler et à entretenir	54
I.4. Principes généraux pour la gestion des eaux pluviales	55
I.4.1. Généralités	55

Sommaire

I.4.2. Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique et des milieux récepteurs	56
I.4.3. Critères de qualité pour la protection de la faune terrestre piscivore	56
I.4.4. Critères de qualité pour la protection des activités récréatives et des aspects esthétiques	57
I.4.5. Résumé des critères et sélection d'un plan de gestion des eaux pluviales ...	57
I.5. Conclusion	59
Bibliographie	60

Partie I :
Eaux usées urbaines

Partie 1 : Eaux usées urbaines

Chapitre I : Pollution et vie aquatique

I.1. Introduction

La pollution peut être définie de plusieurs façons : La pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement. Autrement dit, n'importe quelles matières ajoutées à l'eau qui est au-delà de sa capacité à le détruire est considérée comme de la pollution. La pollution peut, dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui a un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps se sont les actions humaines qui polluent l'eau.

I.2. Définition de la pollution

La pollution est l'introduction ou la présence d'un altéragène dans un milieu et le résultat de son action. Cette pollution est essentiellement attribuée aux activités humaines, mais quand on analyse les différentes pollutions produites, on s'aperçoit qu'en dehors de l'homme qui est au centre de cette responsabilité, il y a aussi des causes naturelles (les volcans, les orages, les tremblements de terre, etc.).

La distinction entre eau polluée et eau non polluée est souvent relative et dépend des exigences d'utilisation.

Les experts assimilaient la pollution à "une composition ou à un état directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité de l'homme de telle façon que cela se traduit par une moindre utilisation de l'eau".

Plusieurs définitions ont été proposées pour le terme « **pollution** » parmi lesquelles :

Définition selon le dictionnaire Larousse

La pollution est une dégradation d'un milieu naturel par des substances chimiques et des déchets industriels ou naturels (à l'exemple des ordures ménagères).

 **Définition admise par le comité scientifique officiel de la Maison-Blanche pour la protection de l'environnement en 1965**

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources en produits agricoles, en eau, et autres produits biologiques.

Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il détient, les possibilités régénératrices du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

La pollution est la conséquence de l'introduction de matières, en quantité suffisamment importante pour perturber son fonctionnement habituel à court, moyen, ou long terme. La plus part du temps elle est due à l'activité de l'homme mais pas toujours.

Pour cerner correctement la notion de pollution par un effluent, il faut intégrer plusieurs facteurs qui caractérisent l'eau usée et le site où elle est rejetée :

- La nature des produits incriminés,
- Leurs concentrations (leurs quantités) dans l'eau usée,
- La durée pendant laquelle elle est rejetée,

La sensibilité du milieu récepteur, c'est à dire, de l'écosystème qui recevra ces produits !

A quantité égale tous les produits n'ont pas le même impact polluant. Il peut être plus ou moins important en fonction de leur nature.

Ceux qui ont un impact important à faible concentration sont dits « toxiques » parce que, présents en faible quantité, ils vont modifier de manière importante et dans un sens négatif, l'équilibre de l'écosystème. Cela peut être le cas de métaux lourds, de cyanures, d'arsenic ou des molécules qui sont utilisées pour les traitements phytosanitaires.

L'introduction d'un polluant dans un écosystème peut modifier l'équilibre d'une communauté microbienne et permettre le développement de bactéries pathogènes qui peuvent être à l'origine de maladies chez l'homme, les animaux ou les plantes...

Lorsqu'une eau usée est récupérée dans un réseau de tuyau par exemple, elles sont disponibles pour être traitées en un point précis. C'est ce que l'on appelle la ***pollution localisée***, c'est une pollution provenant d'un site facile à localiser, et peut être par exemple le point de rejet d'un effluent ou une zone contaminée. C'est une source fixe et généralement d'émission polluantes importantes (*voir figure 1*).



Figure 1 : La pollution localisée (ponctuelle)

Par contre quand des produits chimiques sont répartis dans les champs (comme les engrais, ou des produits phytosanitaires), seulement une partie de ce qui a été répandu sera absorbés par les plantes ou transformés par les micro-organismes du sol.

Les restes qui ne seront pas consommés peuvent être « polluants » car ils seront emportés par les pluies et vont modifier l'équilibre de l'écosystème naturel en d'autres endroits.

L'homme ne peut à posteriori rien faire pour éliminer cette pollution, parce qu'elle est répartie sur de grandes surfaces (ou dans de grands volumes d'eau). On la qualifiera de ***pollution diffuse*** (*voir figure 2*), cette pollution due non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis à l'environnement de façon directe.

Les sources diffuses se caractérisent par des apports de substances émises par des sources mobiles, des sources couvrant de larges étendues ou un grand nombre de sources de pollution d'émission faible.

Les pollutions par des sources ponctuelles sont souvent plus faciles à traiter (en installant par exemple un filtre au niveau du tuyau par lequel les produits polluants sont rejetés dans le milieu naturel), alors que les émissions polluantes provenant de sources diffuses sont difficiles à recenser, à mesurer et donc à contrôler.



Figure 2 : La pollution diffuse

Le tableau suivant récapitule les différences entre les deux types de pollution

Tableau 01 : Les différences entre la pollution diffuse et la pollution ponctuelle

<i>Pollution diffuse</i>	<i>Pollution ponctuelle</i>
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentrations faibles ➤ Surfaces élevées ➤ Origine mal définie ➤ Risque à court et long terme 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Concentrations très élevées ➤ Surfaces affectées faibles ➤ Origine bien définie ➤ Risques à court terme
<p>Exemple</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nitrates ✓ Métaux lourds ✓ Pesticides 	<p>Exemple</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Accident industriel ✓ Pollution chronique

On conclusion, La **pollution de l'eau** est une altération qui rend son **utilisation dangereuse** et **perturbe l'écosystème aquatique**. Elle peut concerner les eaux **superficielles** (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux **souterraines**.

I.3. Classification des termes concernant la pollution

On appelle pollution de l'eau toute modification de la composition de l'eau ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains. Cette modification peut être causée par l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère. On peut utiliser divers critères de classification, reposant sur l'origine, la nature des polluants, la nature des nuisances créées (répercussions sur la santé publique, sur l'équilibre écologique en rivière ou en lac...), ou selon d'autres critères.

I.3.1. Classification selon le type de polluant

Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

I.3.1.1. Pollution physique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau, qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantées (plus lourdes que l'eau), les matières flottables (plus légères que l'eau) et les matières non séparables (de même densité que l'eau).

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique (effluents solides), la pollution thermique (réchauffement de l'eau par des usines) et la pollution nucléaire (retombées de radioéléments issus des explosions d'armes nucléaires, résidus des usines atomiques et accidents nucléaires).

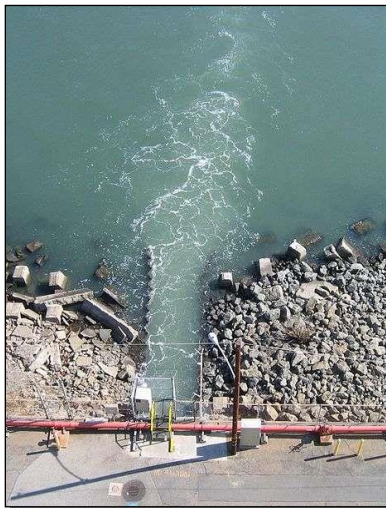


Figure 3 : Pollution thermique

I.3.1.2. Pollution chimique

Elle est due au déversement des rejets industriels apportant de grandes quantités de substances chimiques dont certaines sont non dégradables.

L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture par diverses catégories d'engrais et de pesticides est également à l'origine de la pollution chimique des sources et des nappes souterraines. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuse. (Les polluants chimiques sont classés en cinq catégories.

- ✓ Les polluants chimiques dits indésirables (nitrate, les composés phosphorés et les sels ammoniacaux).
- ✓ Les polluants chimiques toxiques.
- ✓ Les pesticides et produits apparentés.
- ✓ Les hydrocarbures.
- ✓ Les détergents.

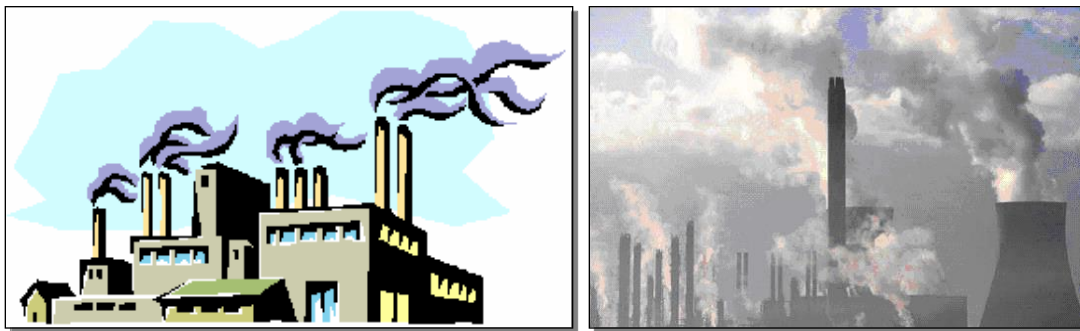


Figure 4 : Pollution chimique

I.3.1.3. Pollution biologique

Il s'agit de la pollution par les micro-organismes (bactéries, virus, parasites, champignons, efflorescences planctoniques, etc.).

L'importance de la pollution dépend également des conditions d'hygiène des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques.

Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons. On parle ainsi de pollution bactérienne, virale ou parasitaire.



Figure 5 : Pollution bactériologique

I.3.2. Classification selon l'origine de la pollution

Selon l'origine de la pollution, on distingue quatre catégories : pollution domestique, urbaine, agricole et pollution industrielle.

I.3.2.1. Pollution domestique

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. et en eaux "vannes" ; il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

La pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- ✓ De 70 à 90 grammes de matières en suspension ;
- ✓ De 60 à 70 grammes de matières organiques ;
- ✓ De 15 à 17 grammes de matières azotées 4 grammes de phosphore ;
- ✓ Plusieurs milliards de germes pour 100 ml.



Figure 6 : Pollution domestique

I.3.2.2. Pollution urbaine

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité.

Le « tout –à- l'égout » est une expression significative ; elle exprime cette diversité.

On trouve les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques.

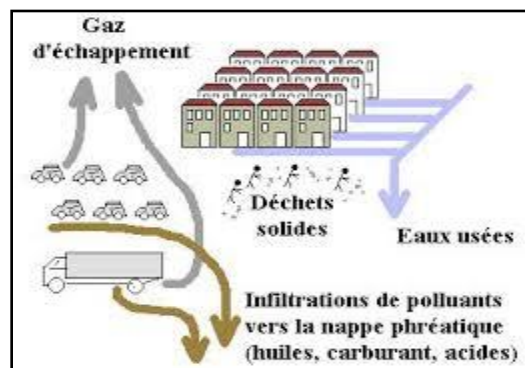


Figure 7 : Pollution urbaine

I.3.2.3. Pollution agricole

L'agriculture, l'élevage, l'aquaculture et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux, notamment des nitrates.

Utilisation des engrais en agriculture : La modernisation de l'agriculture et son intensification ont été généralement accompagnées d'une utilisation abusive et non rationnelle des engrais azotés, notamment.

Utilisation des pesticides en agriculture : Les pesticides sont utilisés en agriculture pour protéger les cultures et les récoltes contre les insectes prédateurs afin d'augmenter les rendements. Le lessivage de ces produits phytosanitaires utilisés en agriculture entraîne la contamination des eaux par des substances toxiques (pesticides). Par ailleurs, les pesticides ne sont pas biodégradables.



Figure 8 : Pollution agricole

I.3.2.4. Pollution industrielle

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Devant l'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industrie est nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits.

Il est évident que les effluents déversés sans traitement approprié entraînent des changements indésirables dans le milieu récepteur et des pollutions très néfastes.

A ce propos, parmi les grandes industries polluantes, l'industrie textile occupe une place suffisamment importante pour être prise en compte.



Figure 9 : Pollution industrielle

Le tableau suivant récapitule les différents types de pollution

Tableau 02 : Les différents types de la pollution

Types de pollution	Nature	Sources
Physique Pollution thermique Pollution radioactive	rejets d'eau chaude radio-isotopes	centrales thermiques installations nucléaires
Matière organique	glucides, lipides, protides ammoniac, nitrates	Effluents domestiques, agricoles... élevages et piscicultures
Chimique fertilisants métaux et métalloïdes pesticides organochlorés composés org de synthèse détergents hydrocarbures	nitrates, phosphates Hg, Cd, Pb, Al, As... insecticides, herbicides PCB, solvants nombreuses molécules agents tensio-actifs pétrole et dérivés	agriculture, lessives industrie, agriculture, pluies acides agriculture, industrie industrie industrie effluents domestiques industrie pétrolière, transports
Microbiologique	Bactéries, virus, champignons	effluents urbains et d'élevage

I.4. Nature de la pollution

Diverses formes de pollution affectent les ressources en eau. La pollution « thermique » (figure 10) est la conséquence du déversement dans le milieu aquatique « fleuves, eau littorales) de quantités considérables d'eau utilisées pour le refroidissement, surtout lors de la production d'énergie électrique par les centrales thermiques ou nucléaires. L'élévation excessive de la température de l'eau fluviale, surtout en période d'étiage, peut modifier l'équilibre biologique des eaux au regard des espèces piscicoles et faciliter le développement d'amibes libres, pathogènes pour les baigneurs.



Figure 10 : Déversement des eaux chaudes dans le milieu aquatique

En entend par la pollution de l'eau, la modification néfaste de la composition des eaux par l'ajout des substances susceptibles d'altérer leur qualité, leur aspect esthétique et compromettre leur consommation. La pollution se manifeste généralement sous quatre formes principales :

- Organique.
- Microbiologique.
- Minérale.
- Toxique (minérale et organique).

A chacune de ces formes de pollution correspond nécessairement une modification du milieu récepteur qui se traduit indirectement et à plus ou moins long terme, par des conséquences néfastes sur l'individu.

I.4.1. Pollution organique

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales) chaque activité rejette des composés spécifiques biodégradables ou pas. On distingue pour les eaux usées urbaines les matières organiques banales (protides, lipides, glucides), les détergents (anioniques, cationiques, non ioniques), les huiles et goudrons. Il est à noter l'existence d'autres substances organiques utilisées ou fabriquées industriellement, c'est le cas des phénols, des aldéhydes et des composés azotés.

I.4.2. Pollution microbiologique

Cette pollution est due à la présence d'une multitude d'organismes vivants dans les eaux Usées apportés par les excréments d'origines humaine ou animale.

Ces bactéries jouent le rôle de témoins de pollution.

I.4.3. Pollution minérale

Il s'agit d'effluents constitués essentiellement de métaux lourds en provenance des industries métallurgiques, de traitement de minerais. On peut citer quelques-uns, comme le plomb, le cuivre, le fer, le zinc, le mercure. Il y'a aussi le cas de certains sels provenant de l'agriculture.

Ces substances suscitées peuvent causer :

- ❖ Des problèmes sur l'organisme de l'individu.
- ❖ Perturbation de l'activité bactérienne en station d'épuration.
- ❖ Affectation des cultures agricoles.

I.5. Degré de la pollution

I.5.1. Influence de la pollution sur la vie aquatique

Dans l'eau d'un lac, il y a des algues, des végétaux aquatiques des insectes, du plancton, des micro-organismes, de petits et de gros poissons... et des gaz dissous dans l'eau (comme le gaz carbonique et l'oxygène). Ce petit monde s'organise pour vivre tranquillement (figure 11). Cela signifie que :

- L'oxygène diffuse à travers l'interface air-eau pour se dissoudre dans l'eau.
- Les végétaux aquatiques, les algues, récupèrent le gaz carbonique, les sels minéraux de l'eau, utilisent la lumière pour la photosynthèse et rejettent de l'oxygène dans l'eau.
- Les poissons consomment l'oxygène qu'il y a dans l'eau et mangent les plantes, les algues, les insectes, et les gros poissons ... mangent les petits poissons.
- Les micro-organismes (des bactéries, par exemple) utilisent la matière organique et minérale et l'oxygène présent dans l'eau pour se développer et se multiplier.

Comme cette matière organique est présente en faible quantité, ils ne se multiplient que très lentement et donc, ne consomment que peu d'oxygène ... ce qui en laissera au poisson pour respirer.

- La lumière qui traverse le volume d'eau va servir aux algues, aux plantes aquatiques pour produire de l'oxygène qui servira lui aussi, aux poissons, aux bactéries...

Et tout cela vit dans un certain équilibre et tout s'arrange tranquillement, et tout va pour le mieux dans le meilleur des mondes...

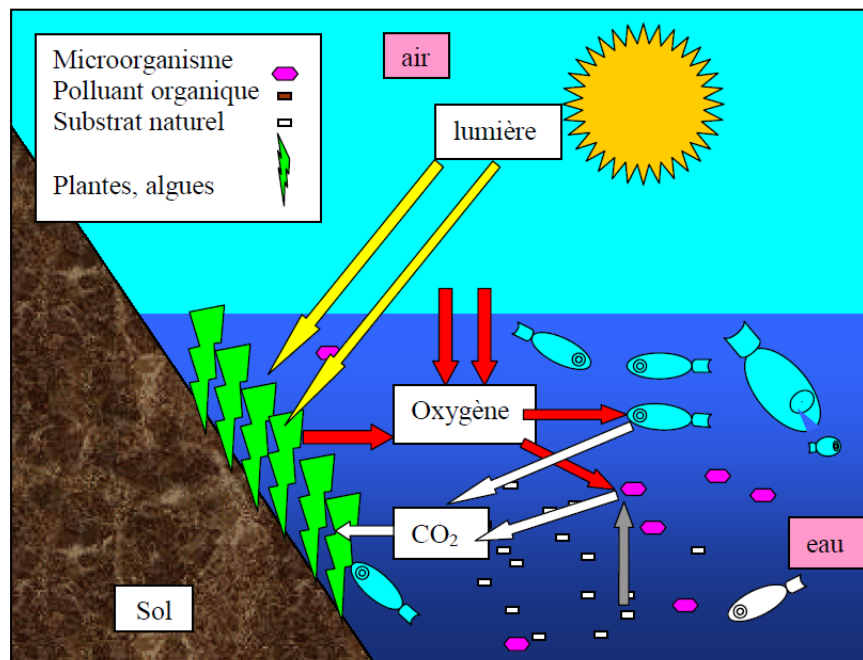


Figure 11 : exemple de transfert de matière et d'énergie dans un écosystème lacustre.

Le problème va arriver quand on va introduire, en quantité significative, de la matière organique ou minérale, dans ce lac. Elle va entraîner une modification des caractéristiques de cet équilibre même si elle est d'origine naturelle. Pourquoi ?

Cette matière est polluante car elle devient un nouveau substrat pour les microorganismes qui vont la consommer très rapidement (figure 12).

En même temps, ils vont, consommer plus d'oxygène (qui est dissous dans l'eau).

Ils peuvent consommer tellement d'oxygène qu'il n'y en aura plus assez pour les poissons.

Ils vont mourir par asphyxie.

La prolifération des micro-organismes va rendre l'eau plus opaque et va empêcher la lumière d'atteindre les algues et diminuer ainsi la production d'oxygène dans l'eau ce qui va amplifier l'asphyxie des poissons.

Alors quel sont les principaux facteurs introduits qui peuvent modifier l'équilibre d'un écosystème ?

- Les matières organiques ou minérales, d'origines naturelles ou non.
- Des produits dit « toxiques » car de petites concentrations ont de grands impacts,
- Des particules ou des colorants qui vont empêcher la lumière d'atteindre les algues,
- Une température élevée ou très basse qui va détruire les êtres vivants qui ne sont pas adapté.
- L'introduction d'un organisme prédateur peut générer un nouvel écosystème (poisson vorace par exemple, ou une algue qui s'installe à la place de toutes les autres).

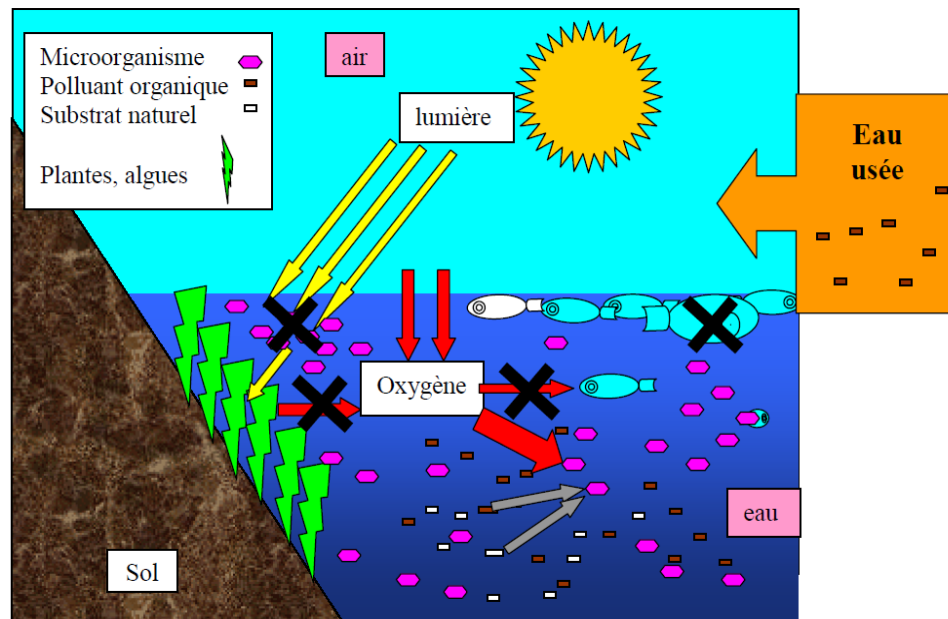


Figure 12 : Exemple d'impact de l'introduction d'un polluant dans un lac.

L'effet de ces pollutions conduit à la modification, voir plus souvent, à une réduction importante de la bio-diversité.

Un produit naturel, composé de matière facilement consommable par les microorganismes (comme le sucre par exemple) peut donc devenir un polluant si elle est rejetée en grande quantité dans le milieu naturel.

I.5.2. Phénomène d'Eutrophisation

I.5.2.1. Définition

L'eutrophisation (du grec *eu* : « bien, vrai » et *trophein* : « nourrir ») est le processus par lequel des nutriments s'accumulent dans un milieu ou un habitat (terrestre ou aquatique). Les causes sont multiples et peuvent donner lieu à des situations d'interaction complexes entre les différents facteurs. Les nutriments concernés sont principalement l'azote (provenant surtout des nitrates agricoles et des eaux usées, et secondairement de la pollution automobile), et du phosphore (provenant surtout des phosphates agricoles et des eaux usées). L'ensoleillement ou la température de l'eau (qui tend à augmenter avec le dérèglement climatique) peuvent exacerber l'eutrophisation.



Figure 13 : exemple d'un milieu eutrophie

L'eutrophisation des milieux aquatiques est un déséquilibre du milieu provoqué par l'augmentation de la concentration d'azote et de phosphore dans le milieu. Elle est caractérisée par une croissance excessive des plantes et des algues due à la forte disponibilité des nutriments. Les algues qui se développent grâce à ces substances nutritives absorbent de grandes quantités d'oxygène, lorsqu'elles meurent et se décomposent.

Leur prolifération provoque l'appauvrissement, puis la mort de l'écosystème aquatique présent : il ne bénéficie plus de l'oxygène nécessaire pour vivre, ce phénomène est appelé « asphyxie des écosystèmes aquatiques ».

Le degré d'eutrophisation décrit l'état trophique (agronomique ou écologique) d'un milieu terrestre ou aquatique ou d'un agroenvironnement où des êtres vivants sont exposés à un « excès » chronique de nutriments. Quand elle a une origine anthropique, depuis les révolutions agricoles et industrielles, l'eutrophisation apparaît généralement conjointement à une acidification du milieu, qui peut aussi rendre les espèces plus vulnérables à certaines pollutions et maladies. Dans les cas extrêmes, on parle de dystrophisation. L'eutrophisation a des coûts sociaux-environnementaux et juridiques et financiers importants.

I.5.2.2. Les cause d'Eutrophisation

L'eutrophisation devient un problème écologique et économique quand il y a déséquilibre entre un apport excessif et la consommation naturelle de nutriments par l'écosystème :

- **azote**, sa déposition sur terre se présente en deux formes liquides comme en pluie ou de la neige et gazeuse causé par la pollution, l'acidité de la pluie peut aussi influencer la concentration de nutriments dans l'eau. Principalement issue d'une « pollution diffuse » introduit dans le milieu terrestres ou aquatique sous trois formes minérales qui sont l'ammonium (ou azote ammoniacal, le plus directement et rapidement toxique pour les organismes aquatiques), les nitrites (ou azote nitreux) et les nitrates (ou azote nitrique), chacune de ces formes ayant une écotoxicité et une toxicité différente,
- **carbone** (carbonates, hydrogénocarbonates, matières organiques...)
- **phosphore**, qui est généralement le facteur limitant dans les milieux naturels d'eau douce tandis que l'azote est limitant en milieu marin (loi de Liebig). Ce sont souvent les phosphates (orthophosphates, polyphosphates) qui permettent l'emballement du processus, mais le taux de saturation en phosphore n'est pas à lui seul un bon indicateur de risque.
- Le débit du renouvellement d'eau joue un rôle important dans l'eutrophisation, l'eau stagné a plus de potentiel à collecter des nutriments qu'une eau renouvelée, il a déjà aussi été prouvé que les terres humides qui ont tendance à sécher entraînent une augmentation concentrée de nutriments qui ultérieurement causera ce phénomène.

Ce milieu déséquilibré est dit *dystrophe* et peut devenir *hypertrophe*. Pour les trois nutriments évoqués ci-dessus, des variations de conditions du milieu abiotique (oxydo-réduction) ou biotique (sous l'influence de l'activité bactérienne et des racines, ainsi que du métabolisme végétal, fongique et animal) peuvent faire passer l'azote, le carbone et le phosphore de l'une de leurs formes à une autre. Or ces formes sont plus ou moins toxiques ou écotoxiques.

Ce processus a comme principales origines :

- des épandages agricoles de fumiers, lisiers ou engrais chimiques trop fréquents ou trop concentrés (en azote et phosphore). Une carence en potassium peut parfois aussi être en cause ;
- des rejets industriels ou urbains d'eaux usées ou de boues d'épuration trop riches en nitrates, ammonium, phosphore et matières organiques incomplètement traitées ;
- l'adjonction de polyphosphates dans les lessives...

La conjonction de ces phénomènes a fait de l'eutrophisation un processus fréquent, atteignant même les zones océaniques, pouvant provoquer l'extension de zones mortes), ou le développement d'algues toxiques, telles *Dynophysis*, sur les littoraux, par exemple en Bretagne (France). Dans certaines régions, comme en Bretagne, les marées vertes et certaines algues toxiques semblent principalement dues au rejet du lisier provenant de l'élevage porcin (densément implanté en Bretagne).

Dans l'acception courante, l'eutrophisation est donc souvent synonyme de pollution, bien que cette dernière puisse revêtir bien d'autres aspects : contamination biologique (bactéries, parasites...), chimique (pesticides, métaux, solvants...) ou physique (chaleur, radionucléides...).

La pêche en milieux fermés ou cours d'eau très lents (canaux notamment) est une cause d'eutrophisation voire d'anoxie (eau) lorsque les rempoissonnements sont excessifs ou que des boules d'amorce riches en nutriments sont jetées dans des étangs fermés, canaux ou cours d'eau à courant lent (cause de turbidité). Une étude récente a montré que la pêche en mer est aussi à l'origine d'un impact important sur le cycle marin de l'azote.

Toutefois, les principaux facteurs de maîtrise sont connus : réduire les apports du bassin versant en phosphore (pour les cours d'eau, lacs et lagunes littorales) et en nitrates (impactant pour les lagunes littorales), améliorer la qualité physique du milieu (lutter contre l'érosion des sols, contre la diminution des zones humides périphériques des plans d'eau et lagunes, etc.).

On résume dans le tableau suivant les principaux effets des polluants.

Tableau 03 : Impacts des polluants sur la santé et sur l'environnement

Polluants	Effets environnementaux	Effets sanitaires
Les matières en suspension	- Eaux plus troubles : perturbe la photosynthèse, la respiration des poissons et colmate les milieux aquatiques	- Transportent des polluants ; ce qui augmente les risques d'absorption de substances toxiques par l'organisme
Pollution organique	- Asphyxie du milieu par consommation de l'oxygène dissous, mort des poissons -Simulation de la production végétale (eutrophisation) et accumulation de boues -Faiblement biodégradable	-Favorise le développement d'organismes pathogènes pour l'Homme
Azote (nitrates, nitrite), phosphore	- Eutrophisation des milieux aquatiques par excès de matières nutritives pour les végétaux (algues) et conduisant à l'asphyxie des milieux - Toxicité de l'ammoniaque et des nitrites pour la faune aquatique	- Nitrates : empoisonnement du sang chez les nourrissons par blocage de l'hémoglobine interdisant le transport de l'oxygène (maladie bleue) - Nitrites : cancers à long terme chez les adultes (même à faible concentration si associés à certains pesticides)
Métaux	Non biodégradables, bioaccumulables	- Troubles respiratoires, digestifs, nerveux, ou cutanés

		- Arsenic, Nickel et chrome sont également comme cancérigènes
Pesticides	<ul style="list-style-type: none"> - Substances très dangereuses pour les milieux aquatiques - Polluants organiques persistantes <p>S'adsorbent et s'accumulent dans certains compartiments (sédiments, matières organiques, chaîne alimentaire)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les plus toxiques : les insecticides - Effets reprotoxiques (malformations, stérilité, troubles de la reproduction), mutagènes et cancérogènes.

I.6. Conclusion

Si la qualité des milieux aquatiques s'est nettement améliorée au cours des dernières années dans les pays développés, des défis majeurs restent à relever dans le futur pour traiter les pollutions qui y persistent. Concernant les pays émergents, la tâche est encore plus lourde pour faire face à la croissance générale et rapide de leur niveau de pollution. Les nuisances de la pollution azotée et phosphorée sont nombreuses et variées comme l'eutrophisation du milieu récepteur. Dans un souci de protéger les milieux récepteurs d'épuration.

Chapitre II : Conséquences et paramètres de la pollution

II.1. Introduction

La pollution de l'eau peut être non seulement visible - c'est le cas des bouteilles, des sacs plastiques ou de tout autre débris solide - mais elle peut aussi être invisible comme la pollution par les nitrates (liée aux excréments des animaux concentrés dans des élevages extensifs) ou les métaux lourds (déversés par les industries).

Ce type de pollution est souvent bien plus dangereux.

II.2. Conséquences de la pollution

Les conséquences d'une pollution peuvent être classées en cinq catégories principales : sanitaires, écologiques, esthétiques, agricoles, industrielles.

II.2.1. Conséquences sanitaires

Les conséquences sanitaires sont celles à prendre en compte en priorité. Elles peuvent être liées à l'ingestion d'eau, de poissons intoxiqués...etc., mais aussi, au simple contact avec le milieu aquatique (cas de nombreux parasites). On peut noter qu'il ne s'agit pas toujours de problèmes de toxicité immédiate, les conséquences sanitaires pouvant intervenir au travers de phénomènes complexes, que nous ne développerons pas ici.

La conséquence sanitaire d'une pollution est variable dans le temps en fonction de l'usage de l'eau : par exemple, la pollution d'une nappe non exploitée n'a aucune conséquence sanitaire immédiate, mais peut en avoir longtemps après, si on utilise cette eau pour l'alimentation en eau potable (A. E. P.)

II.2.2. Conséquences écologiques

Les conséquences écologiques se mesurent en comparant l'état du milieu pollué par rapport à ce qu'il aurait été sans pollution. Ceci n'a rien d'évident, la pollution se traduisant parfois uniquement par l'accentuation d'un phénomène naturel. D'une manière générale, les conséquences écologiques sont à considérer au travers de la réduction des potentialités d'exploitation du milieu (pêche, aquaculture, tourisme, ...)

II.2.3. Conséquences esthétiques

Il s'agit de pollutions n'ayant pas de conséquences sanitaires ou écologiques importantes, mais perturbant l'image d'un milieu (par exemple, par des bouteilles plastiques).

Les conséquences esthétiques sont, par définition, les plus perceptibles, et c'est donc celles dont les riverains et le grand public auront, en premier, conscience. On peut également distinguer deux autres conséquences liées à l'utilisation de l'eau comme produit.

II.2.4. Conséquences agricoles

L'eau est, dans certaines régions, largement utilisée pour l'arrosage ou l'irrigation sous forme brute (non traitée). La texture du sol (complexe argilo humique), sa flore bactérienne, les cultures et le bétail, sont sensibles à la qualité de l'eau. De même, les boues issues du traitement des eaux usées pourront, si elles contiennent des toxiques (métaux lourds) être à l'origine de la pollution des sols, en cas d'épandage.

II.2.5. Conséquences industrielles

L'industrie est un gros consommateur d'eau : il faut par exemple 1 m³ d'eau pour produire 1 kg d'aluminium. La qualité requise pour les utilisations industrielles est souvent très élevée, tant sur le plan chimique (pour limiter la minéralisation, corrosion, entartrage), que biologique (problème de *biofouling*, c'est-à-dire d'encrassement des canalisations par des organismes). Le développement industriel peut donc être stoppé ou retardé par la pollution. Généralement, les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres. En effet, un rejet n'est jamais une source unique et un égout rejette des déchets de différentes natures, en plus des déjections domestiques et animales.

L'organisation mondiale de la santé (OMS) considère que 80% des maladies qui affectent la population mondiale sont directement véhiculées par l'eau : des dizaines, voire des centaines de millions de personnes sont atteintes en permanence de gastro-entérites, 160 millions de paludisme et 30 millions d'onchocercose. Malgré les apparences, la transmission des maladies par une eau polluée n'est pas l'apanage des pays en voie de développement et l'élaboration de normes sur les eaux de consommation vise à fournir aux consommateurs une eau qui ne constitue pas un risque pour la santé.

En définitive la pollution des eaux par les matières organiques est un problème mondial dont les aspects et la portée sont évidemment différents selon le niveau de développement des pays. Il importe que les concentrations des produits polluants soient les plus faibles possible.

La prévention est donc essentielle et repose sur les trois aspects suivants :

L'aspect réglementaire qui consiste à fixer des normes ;

L'aspect sanitaire qui comporte en particulier le contrôle technique des installations ; Les aspects scientifique et technologique qui correspondent à l'amélioration des procédés de dépollution.

On peut résumer les conséquences de la pollution dans les points suivants :

- ✓ Les matières organiques solubles abaissent la teneur en Oxygène dans les cours d'eau, ce qui conduit à la réduction et à la mort de la faune aquatique.
- ✓ Les matières en suspension, s'accumulent au fond des cours d'eau, lacs et étangs et causent l'augmentation de la turbidité.
- ✓ Les acides sont toxiques à la vie aquatique et détériorent les réseaux d'égaux.
- ✓ Les huiles et les graisses flottants conduisent au colmatage des conduites et donnent un aspect esthétique indésirable.
- ✓ Les matières toxiques et métaux lourds sont toxiques à la vie aquatique.
- ✓ Le phosphore et l'azote conduit à l'eutrophisation des cours d'eau.
- ✓ Les coliformes fécaux et pathogènes participent à la contamination bactériologique des cours d'eau.

II.3. Paramètres de la pollution

Habituellement, le potentiel de pollution d'une eau est apprécié par une série d'analyse physico-chimiques dont certaines tentent de reproduire les modifications que cette eau sera susceptible d'apporter dans le milieu où elle sera rejetée. Ces mesures sont complétées par des analyses plus spécifique et à l'origine de nuisances majeures, tel que le phosphore ou l'azote.

Dans certains cas particuliers, des produits toxiques peuvent être recherchés.

II.3.1. Paramètres physiques

II.3.1.1. Matières en suspension (MES)

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les MES, qui comportant des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel.

II.3.1.2. Température

C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas de rejet industriel dans le réseau. Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration, notamment les dégraisseurs, est sensible à des températures trop élevées. Ainsi, tout rejet doit être inférieur à 30°C.

II.3.1.3. Conductivité

C'est une mesure simple, qui se pratique avec une électrode et fournit une indication précise sur la concentration totale en sels dissous. Par comparaison avec la conductivité de l'eau potable, il est possible de juger rapidement si des apports importants, en particulier industriels, ont lieu dans le réseau d'assainissement. Le résultat est donc exprimé en micro siemens par centimètre ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

II.3.1.4. Les matières volatiles en suspension (MVS)

C'est la partie des matières en suspension susceptibles d'être volatilisées à 550°C. Les MVS sont généralement assimilées aux matières organiques en suspension. Ils s'expriment en mg/l.

II.3.2. Paramètres chimiques

II.3.2.1. Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

Elle représente la quantité d'oxygène dépensée par les phénomènes d'oxydation chimiques, d'une part, la dégradation des matières organiques par voie aérobie, nécessaire à la destruction des composés organiques, d'autre part. En effet, dans un effluent complexe, ces deux types d'oxydation se superposent, d'où l'emploi du terme biochimique.

Pour être complète, l'oxydation biologique nécessite un temps de 20 à 28 jours, on mesure dans ce cas la DBO ultime ou DBO₂₁ ou DBO₂₈; cette période étant longue, on a choisi par convention une mesure après 5 jours d'incubation appelée DBO₅.

La DBO représente seulement la pollution organique carbonée biodégradable.

II.3.2.2. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

Elle représente la teneur totale de l'eau en matières organiques, qu'elles soient ou non biodégradables.

II.3.2.3. Matières oxydables (MO)

Ce paramètre est utilisé pour caractériser la pollution organique de l'eau. Il se définit à partir de la DBO₅ et de la DCO selon la formule suivante :

$$MO = (2 DBO_5 + DCO) / 3 \dots\dots\dots (1)$$

II.3.2.4. Le pH

Le pH mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimiques. La valeur du pH influe la croissance des micro-organismes présents dans l'eau, la plupart des bactéries par exemple peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9, l'optimum étant situé entre 6,5 et 8,5. Des valeurs inférieures à 5 ou supérieures à 9 affectent la survie des micro-organismes aquatiques selon l'OMS.

II.3.2.5. Le carbone organique total (COT)

Il ne représente que le carbone présent dans les composés organiques. La valeur de (COT), contrairement à la DBO, détermine complètement les composés difficilement ou non dégradables biochimiquement, qui sont d'une grande importance pour l'évaluation de la pollution de l'eau et des effluents.

II.3.2.6. Les sels nutritifs

Les nutriments sont des éléments qui peuvent se présenter dans les eaux usées urbaines, sous forme organique ou minérale. Ils sont responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques.

La connaissance des quantités des nutriments contenus dans l'eau usée est donc indispensable pour le contrôle de la qualité des nutriments dans les effluents épurés avant de les rejeter dans le milieu récepteur

A- Le phosphore

Le phosphore se présente dans les eaux résiduaires brutes sous deux formes :

- *Organique* : d'origine industrielle ou biologique provenant des matières fécales.
- *Minérales* : les ortho et poly phosphates provenant de lessive, d'engrais phosphatés.

L'apport journalier de phosphore est d'environ 4 g par habitant par jour.

La connaissance de la quantité du phosphore dans les eaux résiduaires permet de savoir si un traitement biologique est envisageable.

Dans les bassins biologiques, le phosphore organique et les poly phosphates sont rapidement transformés par les micro-organismes en ortho-phosphates. Une partie de ces derniers est utilisée pour la synthèse de nouvelles cellules.

Phosphore total (PT) C'est la somme des trois formes du phosphore (orthophosphates, polyphosphates et le phosphore organique). A la sortie de la station d'épuration, le phosphore est à 90% sous forme d'orthophosphates.

B- L'Azote

L'azote peut être présent dans les eaux usées sous plusieurs formes :

Forme réduite : Azote organique (N) et Azote ammoniacal (NH_4^+).

Forme moléculaire : Azote dissous (20 mg/l à la température ambiante).

Forme oxydée : Azote nitreux (NO_2) et Azote nitrique (NO_3).

L'azote contenu dans les eaux résiduaires domestiques est essentiellement sous forme Ammoniacale.

Azote total Kjeldahl (NTK)

Représente les formes réduites de l'azote (organique et ammoniacal) dans l'eau. Mesure en mg N/l.

II.3.3. La biodégradabilité

La biodégradabilité d'une substance exprime son aptitude à être décomposée par les microorganismes.

Elle est influencée par plusieurs facteurs tels que : la concentration du produit à dégrader, le nombre et la nature des micro-organismes, et enfin le pH et la température du milieu.

❖ Coefficient de biodégradabilité

$$K = \text{DCO} / \text{DBO}_5 \dots \dots \dots (2)$$

Le rapport entre ces deux valeurs détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement biologique, tableau 04.

Tableau 04 : Coefficient de biodégradabilité

K : rapport (DCO/DBO5)	Mode de traitement
K=1	Pollution totalement biodégradable
1<K<1.6	Epuration biologique très possible
1.6<K<3.2	Traitement biologique associé à un traitement physico-chimique
K>3.2	Traitement biologique impossible

I.4. Conclusion

La pollution de l'eau est causée par les activités humaines. Elle est principalement liée au rejet des déchets domestiques dans l'eau, à l'industrie et à l'agriculture.

Après avoir pris conscience de la gravité de la pollution des eaux et de ce que cela implique, les hommes ont cherché et ont trouvé différentes manières de nettoyer les eaux. Ainsi ils arrivent grâce aux nouvelles infrastructures à minimiser les risques liés à cette dégradation de l'eau d'où l'eau polluée peut donc être un danger pour la santé.

A cet effet, plusieurs paramètres qui sont des indicateurs de la présence des polluants dans l'eau et de leur quantité à déterminer, quatre sont très souvent utilisés : les MES_T, DCO, DBO₅ et le pH.

Chapitre III : Méthodes de quantification et normes de rejets

III.1. Introduction

Dans le présent chapitre nous allons présenter les différentes méthodes de quantification de différents paramètres de pollution ainsi que les normes de rejets.

III.2. Quantification (moyens et méthodes)

III.2.1. Détermination de la conductivité électrique

Pour déterminer la conductivité électrique on utilise les appareils suivants :

- Conductimètre
- Bêchers ou fioles

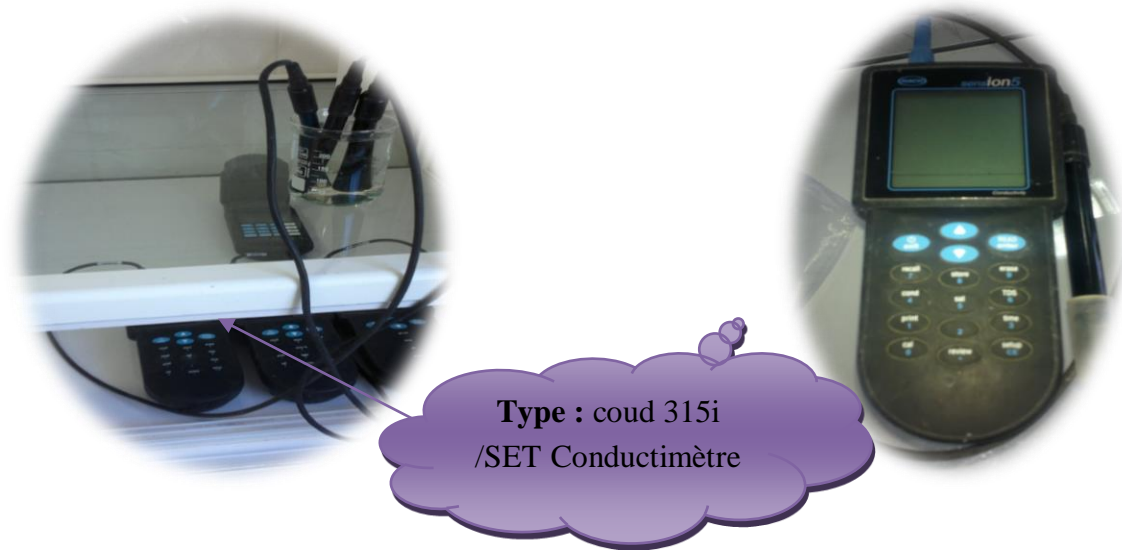


Figure 1: Le Conductimètre

A / Mode opératoire

Allumer le conductimètre puis Rincer l'électrode avec de l'eau distillée. D'autre coté on met une quantité d'eau à analyser dans un bêcher. Ensuite on trempe l'électrode dans le bêcher et on laisse l'appareil quelque moment pour stabiliser jusqu'à l'affichage des données de la conductivité et la salinité. On termine par un rinçage abondant de l'électrode avec de l'eau distillée.

III.2.2. Détermination du Potentiel d'Hydrogène pH

Pour déterminer le pH on utilise les appareils suivants :

- pH Mètre
- Des béchers ou des fioles



Figure 2: Le pH mètre

A / Mode opératoire

Allumer le pH mètre puis Rincer l'électrode avec de l'eau distillée. D'autre coté on met une quantité d'eau à analyser dans un bécher. En suite trempe l'électrode de pile dans le bécher et en laisse l'appareil quelque moment pour stabiliser jusqu'à l'affichage des données. On termine par un rinçage abondant de l'électrode avec de l'eau distillée.

III.2.3. Détermination de l'oxygène dissous

Pour déterminer l'oxygène dissous on utilise les appareils suivants :

- Oxymètre
- Des béchers ou des fioles

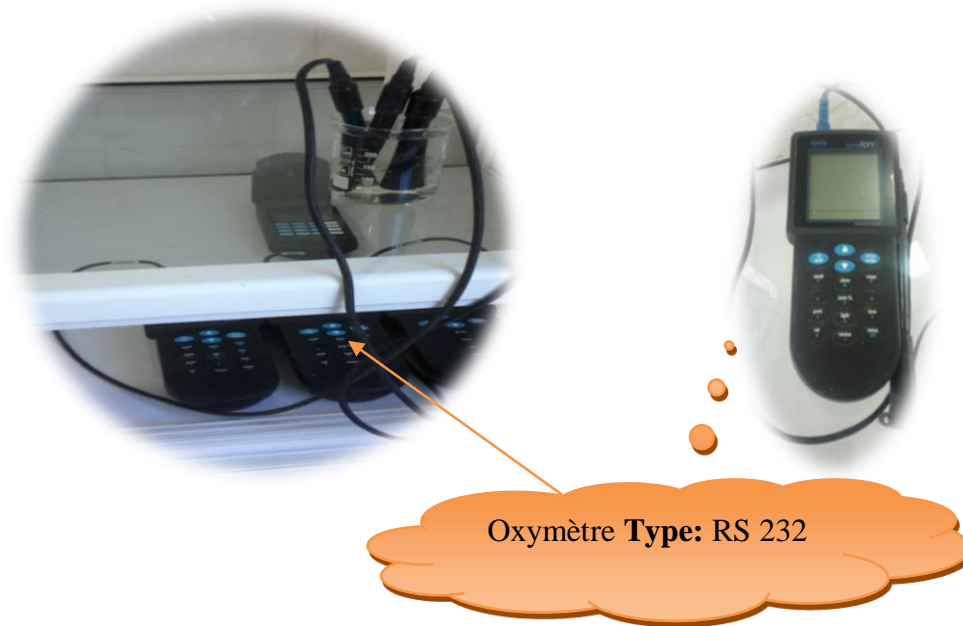


Figure 3 : Oxymètre

A / Mode opératoire

Allumer l'Oxymètre puis Rincer l'électrode avec de l'eau distillée. D'autre coté on met une quantité d'eau à analyser dans un bécher. En suite trempe l'électrode de pile dans le bécher et en laisse l'appareil quelque moment pour stabiliser jusqu'à l'affichage des données. On termine par un rinçage abondant de l'électrode avec de l'eau distillée.

III.2.4. Détermination de la température

A / Mode opératoire

Pour déterminer la température, après la stabilité des trois (03) appareils de la : Conductimètre, pH mètre, Oxymètre. On prend la valeur maximum est marqué cette valeur.

III.2.5. Détermination des matières en suspension (MES)

Pour déterminer les MES on utilise les appareils suivants :

- Etuve
- Capsule
- Balance
- Papier filtre
- Centrifugeuse

- Entonnoir

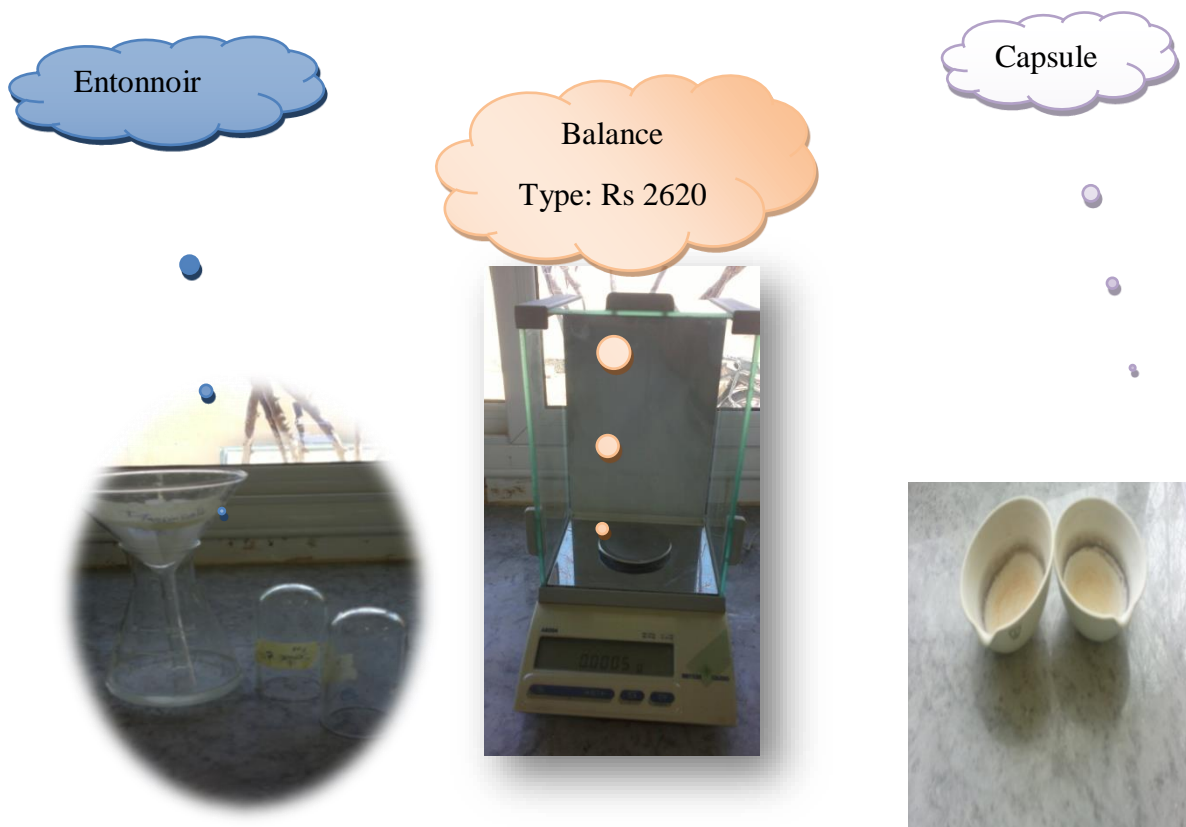


Figure 4: Matériel utilisé pour la détermination des MES

A / Mode opératoire

La séparation des MES de l'eau se fait par centrifugation par apport à l'entrée du bassin. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse. L'application de la force centrifuge sur les particules solides permet de les rassembler dans le fond du tube sous forme d'un culot. Ce culot sera levé puis récupéré et mis à sécher à 150 °C, le résidu sec est ensuite pesé. Il correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

La séparation des MES de l'eau se fait aussi par centrifugation et après par filtration (par rapport la sortie du bassin). Cette technique est adaptée à des échantillons peu chargés. On laisse le papier filtre pendant une journée pour le séchage, puis on peut calculer le facteur des MES par la formule ci-dessous.

Expression des résultats

La teneur de l'eau en matière en suspension (mg/l) est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{M_1 - M_0}{V} \times 100$$

(mg/l)

Avec

M_0 = Masse de papier filtre avant l'utilisation en (mg)

M_1 = Masse de papier filtre après l'utilisation en (mg)

V = Volume d'eau utilisé en (ml)

III.2.6. Mesure de la demande chimique en Oxygène DCO

Pour déterminer la DCO on utilise les appareils suivants :

- Four
- Poire à pipeter
- Spectrophotomètre
- Les tubes DCO
- Pipette jaugée
- Agitateur (réacteur)
- Bécher

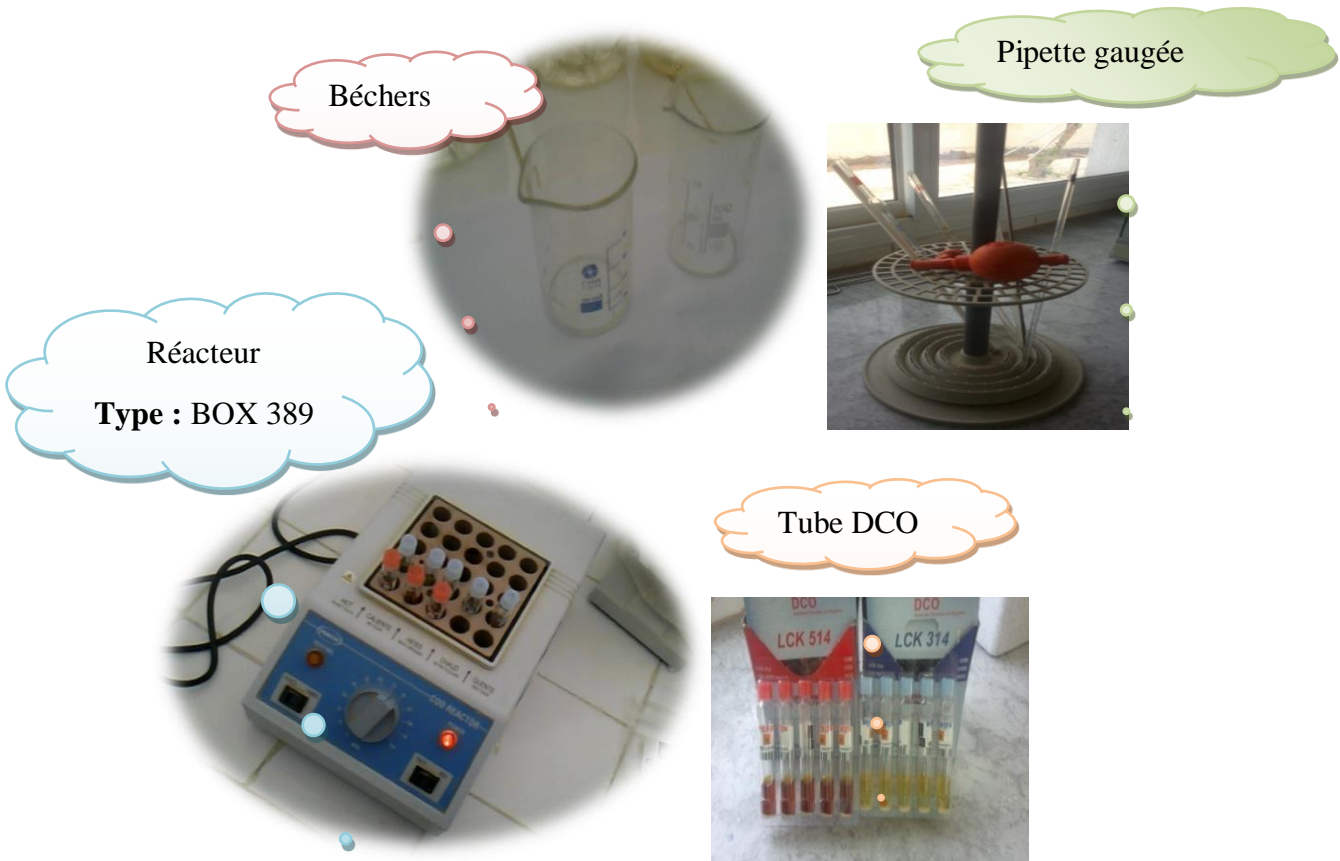


Figure 5: Matériel utilisé pour la détermination de la DCO

A / Mode opératoire

Dans un premier tube du réacteur de DCO on introduit 2 ml de l'échantillon à analyser homogène et dans un autre tube 2 ml eau permutée (distillée). Aux 2 ml d'échantillon d'eau à analyser, on ajoute 2 ml du réactif DCO pré dosé constitué de $K_2Cr_2O_7$, Hg_2SO_4 , Ag_2SO_4 , $HgSO_3$. Les deux tubes bouchés sont placés dans le réacteur de DCO. On porte à l'ébullition sous reflux pendant deux heures (à 150 °C). Après refroidissement, les tubes sont transférés dans un photomètre DCO de type photoflex. La lecture directe nous indique la valeur de la DCO de l'échantillon en mg/l.

III.2.7. Mesure de la demande Biochimique en Oxygène DBO_5

Pour déterminer la DBO_5 on utilise les appareils suivants :

- Bouteille de DBO_5
- Barrou-magnétique
- DBO mètre
- NaOH



Figure 6: Matériel utilisé pour la détermination de la DBO

A / Mode opératoire

Ce test est réalisé à l'aide d'un appareil DBO_5 de type MF 120, mais il concerne directement la valeur DCO autrement dit, en connaissant la valeur DCO, il est possible de déterminer la quantité d'eau à analyser et ce conformément au tableau N° 05.

III.2.8. Relation entre la DCO et la DBO_5 pour la détermination de la quantité d'eau à analyser en faveur de la DBO_5

La relation entre la DCO et la DBO_5 pour la détermination de la quantité d'eau à analyser en faveur de la DBO_5 est récapitulée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 05: *Quantité d'eau à analyser en faveur de la DBO₅.*

Charge de DCO Conversion	Volume d'eau en ml	Coefficient de conversion
0 - 40	432	1
40 - 80	365	2
80 - 200	250	5
200 - 400	164	10
400 - 800	97	20
800 - 2000	43.5	50
2000 - 4000	22.7	100

III.2.9. Mesure des paramètres NH₄⁺ et NO₂⁻ et NO₃⁻**III.2.9.1. Ammoniac NH₄⁺**

Pochettes de réactif

Méthode 8155

Préparation de l'échantillon

Remplir une cuve carrée du 1 jusqu'au trait de 10 ml avec l'échantillon.

Préparation du blanc

Remplir une autre cuve carrée de 1 jusqu'au trait de 10 ml avec l'eau désionisée transférer le contenu d'une pochette de réactif au salicylate d'ammoniaque dans chaque cuve, boucher et agiter jusqu'à dissolution du réactif en poudre. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK.

Une période de réaction de 3 min va commencer. Lorsque la minuterie retentit, transférer le contenu d'une pochette de réactif au cyanurates d'ammoniaque dans chaque cuve. Boucher et agiter jusqu'à dissolution du réactif en poudre. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK. Une période de réaction de 15 min va commencer. Une coloration verte apparaîtra en cas de présence d'azote ammoniacal.

Lorsque la minuterie retentit essayer l'extérieur du blanc et l'introduire dans le compartiment de cuve :

- Sélectionner sur l'écran : Zéro
- Indication à l'écran : 0.00 ml/l de $\text{NH}_3\text{-N}$
- Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de la cuve
- Sélectionner sur l'écran : Mesure les résultats sont indiqués en mg/l $\text{NH}_3\text{-N}$



La solution préparée



Spectrophotomètre

Figure 7: l'Appareil de Spectrophotomètre

III.2.9.2. Nitrate NO_3^-

Pochette de réactif

Méthode 8039

Remplir une cuve carrée de 1 jusqu'au trait de 10 ml avec l'échantillon.

Préparation de l'échantillon

Transférer le contenu d'une pochette du réactif pour nitrate Nitra Ver 5 dans la cuve.

Boucher.

Appuyer sur l'écran représentant la minuterie. Appuyer sur OK une période de réaction de 1 min va commencer. Agiter énergiquement la cuve jusqu'à ce que la minuterie retentisse.

Lorsque la minuterie retentit, appuyer de nouveau sur l'icône représentant la minuterie.

Appuyer sur OK, une période de réaction de 5 min va commencer.

Une coloration ambre apparaît en présence de nitrate.

Préparation du blanc

Lorsque la minuterie retentit, remplir une autre cuve carrée de 1 jusqu'au trait 10 ml avec l'échantillon.

- Essuyer l'extérieur du blanc et l'introduire dans le compartiment de la cuve
- Sélectionner sur l'écran : Zéro
- Indication à l'écran : 0.0 mg/l NO₃-N

Dans la minute suivant dans retentissement de la minuterie, essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve.

Sélectionner sur l'écran : Mesure des résultats sont indiqués en mg/l NO₃-N

III.2.9.3. Nitrite NO₂⁻

Pochette de réactif

Méthode 8507

Remplir une cuve carrée de 1 jusqu'au trait 10 ml avec l'échantillon

Préparation de l'échantillon

Transférer le contenu d'une pochette de réactif pour nitrite Nitri Vers 3 dans la cuve ronde. Agiter pour homogénéiser jusqu'à dissolution de la poudre, une coloration rose se développera en présence de nitrite. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK. Une période de réaction de 20 min va commencer.

Préparation du blanc

Remplir une autre cuve carrée de 10 ml avec l'échantillon. Essuyer l'extérieur du blanc et l'introduire dans le compartiment de la cuve.

-Sélectionner sur l'écran : Zéro

-Indication à l'écran : 0.000 mg/l NO₂-N

Essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de la cuve.

Sélectionner sur l'écran : Mesure les résultats sont indiqués en mg/l NO₂-N

III.2.9.4. Phosphate PO_4^{3-}

Mode opératoire :

- Entrer le numéro de programme mémorisé pour l'orthophosphore, méthode acide ascorbique.
- Presser : 79 entrer. L'affichage indique mg/l, PO_4^{3-} et le symbole ZERO.
- Remplir une cuvette avec au moins 10 ml d'échantillon (le blanc), prélever au moins 40 ml d'échantillon dans un bicher de 50 ml.
- Remplir une ampoule Accuvac phosphate avec l'échantillon (échantillon préparé).
- Enfoncez un bouchon sur la pointe de l'ampoule. Agiter pendant environ 30 secondes, puis essayer tout liquide ou trace de doigts.
- Presser : TIMER ENTRER
- Une période de réaction de 5 minutes commence.
- Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette. Presser EXIT.
- Presser : ZERO. Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique : 0.00 ml/l PO_4^{3-}
- Lorsque le minuteur sonne, placer l'ampoule Accuvac dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir l'ampoule.
- Presser : READ. Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de PO_4^{3-} s'affiche.

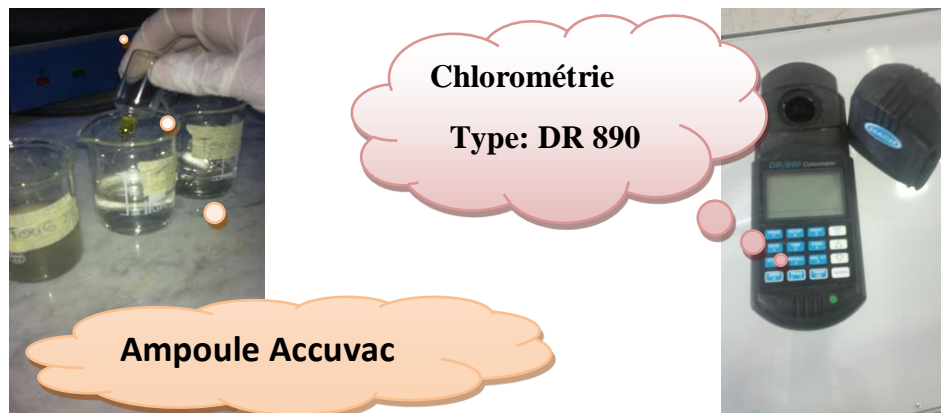


Figure 8: L'Appareil de Chlorométrie

III.2.10. Azote total

Doser à la suite, consécutivement dans une éprouvette de réaction sèche :

1.3 ml d'échantillon, 1.3 ml de solution A, 1 tablette B, fermer immédiatement. Ne pas mélanger.

Chauffer directement pendant HT 200 S : 15 min avec le programme standard HT

Thermostat : 60 min à 100 °C

Refroidir et ajouter 1 MicroCap C.

Fermer l'éprouvette de réaction et mélanger jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous du MicroCap C et qu'il n'y ait aucune particule restante.

Pipeter lentement dans le test en cuve : 0.5 ml d'échantillon désagrégé.

Pipeter lentement 0.2 ml de solution D.

Fermer immédiatement la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite jusqu'à qu'aucun dépôt ou agrégat ne soit observable.

Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.



Les réactifs

Réacteur
Type : BOX

Spectrophotomètre

Figure 9: Matériel utilisé pour la détermination de l'Azote total

III.3. Normes de rejets

Les eaux usées, si elles étaient rejetées dans le milieu sans traitement, pollueraient gravement l'environnement et la ressource en eau.

En effet, certaines eaux usées contiennent une charge polluante importante. C'est pourquoi la réglementation impose des normes de rejet, dans les eaux superficielles comme dans le sol et le sous-sol suivant différents types de dispositifs d'épuration et de rejets.

III.3.1. Norme de rejet des effluents urbains

Dans le domaine de l'eau, on est tenu de respecter des normes très strictes car cela touche au domaine de la santé publique, et le moindre écart peut s'avérer très dangereux pour la santé de l'homme, la préservation des espèces aquatiques...etc.

Pour l'épuration, les normes concernent en grande partie la qualité de l'eau au rejet.

Les normes de rejet ont pour but de maintenir, où le cas échéant de restaurer, la qualité des eaux superficielles qui reçoivent les effluents traités. Les systèmes d'épurations, ont donc pour mission de réduire au maximum les paramètres caractérisant un effluent (DBO, DCO, MES, NTK, PT).

La limite de pollution tolérée est fixée par l'intermédiaire de la réglementation sanitaire.

Les différents niveaux de rejet sont déterminés en fonction des paramètres suivants :

- L'objectif de qualité assigné au milieu récepteur.
- Les conditions locales de dilution, de renouvellement d'eau et d'autoépuration offerte par le milieu naturel.
- Les caractéristiques de l'effluent avant épuration (débit, concentration et biodégradabilité).

Les rejets en dehors des situations inhabituelles doivent respecter les valeurs soit en concentration (tableau 06) soit en rendement (tableau 07).

Tableau 06 : Norme de rejet en termes de concentration

Paramètre	Valeur
Température	< 25
pH	6 < pH < 8,5
DBO ₅	≤ 25 mg/l
DCO	≤ 125 mg/l
MES	≤ 35 mg/l

Tableau 07 : normes de rejet en termes de rendement

Paramètres	Charge brute de pollution en Kg/j de DBO ₅	Rendement minimum à atteindre
DBO ₅	120 < DBO ₅ ≤ 600	70 %
	> 600	80 %
DCO	Toutes charges	75 %
MES	Toutes charges	90 %

Remarque : les valeurs des tableaux se réfèrent aux méthodes normalisées, sur échantillon homogénéisé, non filtré ni décante.

III.3.2. Norme de rejet des effluents industriels

Les rejets d'effluents liquides industriels dans le milieu naturel sont réglementés en Algérie par le décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006.

Les valeurs limites maximales de rejet des installations de déversement industrielles sont illustrées d'une manière détaillée dans le tableau 08.

Tableau 08 : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels

N°	Paramètres	Unité	Valeurs maximales
1	Température	°C	30
2	pH	-	6,5-8,5
3	MES	mg/l	35
4	Azote Kjeldahl	mg/l	30
5	Phosphore total	mg/l	10
6	DCO	mg/l	120
7	DBO ₅	mg/l	35
8	Aluminium	mg/l	3
9	Substances toxiques bioaccumulables	mg/l	0,005
10	Cyanures (CN)	mg/l	0,1
11	Fluor et composés	mg/l	15
12	Indice de Phénols	mg/l	0,3
13	Hydrocarbures totaux	mg/l	10
14	Huiles et graisses	mg/l	20
15	Cadmium (Cd)	mg/l	0,2
16	Cuivre total (Cu)	mg/l	0,5
17	Mercure total (Hg)	mg/l	0,01
18	Plomb total (Pb)	mg/l	0,5
19	Etain total	mg/l	2
20	Chrome total	mg/l	0,5
21	Manganèse (Mn)	mg/l	1
22	Nikel total (Ni)	mg/l	0,5
23	Zinc total (Zn)	mg/l	3
24	Fer (Fr)	mg/l	3
25	Composés organiques chlorés	mg/l	5

III.4. Conclusion

Les eaux polluées après leurs traitements doivent respecter certaines normes avant leur rejet dans la nature selon leur origine, eaux usées domestiques, eaux industrielles et même les eaux de drainage dans le domaine agricole.

Partie II :
Eaux pluviales

Partie 2 : Eaux pluviales

Chapitre I : Pollution des eaux pluviales

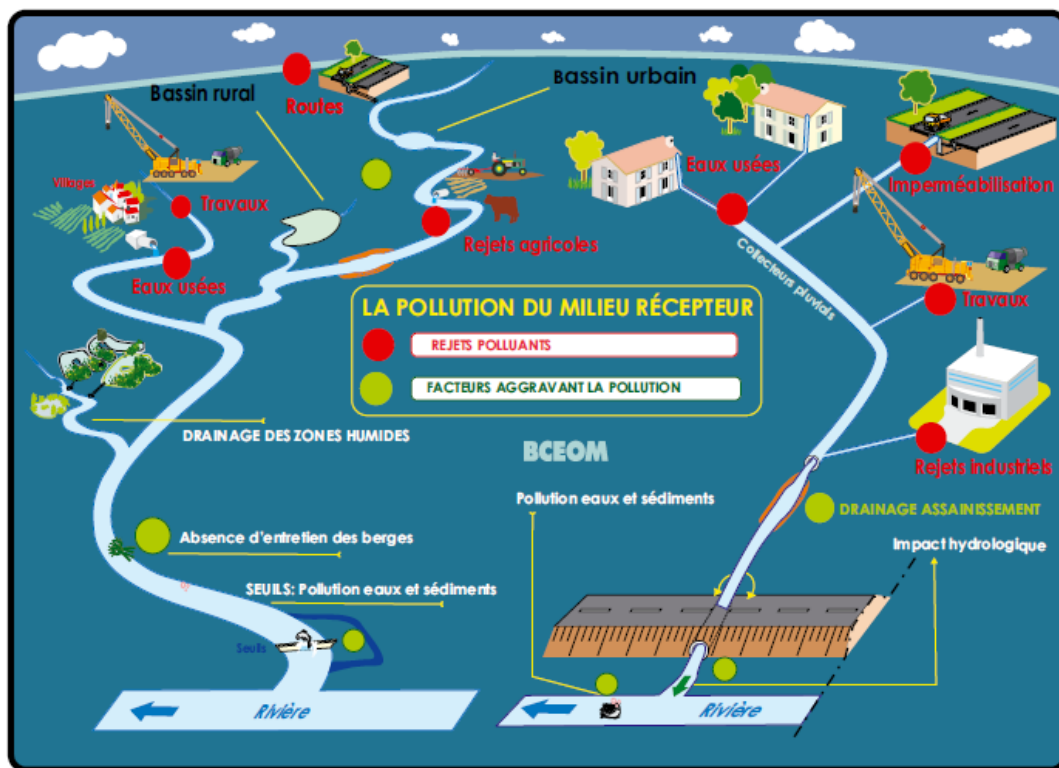
I.1. Introduction

Les eaux pluviales peuvent être polluées. Par le phénomène du lessivage des sols, la pluie et les ruissellements entraînent les polluants.

Ceux-ci peuvent s'accumuler sur la chaussée, les parcs de stationnement, les stations-service, les aéroports ou encore les aires de lavage. Les principales causes de cette pollution en milieu urbain proviennent des hydrocarbures, en raison de la circulation importante des véhicules.

La pollution pluviale est celle qui correspond aux lessivages des sols :

Sur les zones imperméabilisées (rejet d'hydrocarbures et métaux lourds), mais aussi les terrains cultivés (rejet de nitrates, phosphates et pesticides).



Comme le montre la figure 23, la pollution associée au ruissellement urbain est causée par plusieurs phénomènes et processus, qui dépendent des apports externes et des activités résultant de l'occupation du territoire.

Concrètement, cette pollution est la résultante de deux processus : une accumulation des polluants durant les périodes de temps sec et un lessivage de ces polluants lors des épisodes pluvieux. Les sources de polluants peuvent être regroupées en 6 principales catégories :

- Circulation automobile ;
- Industries ;
- Animaux ;
- Déchets solides ;
- Chantiers et érosion des sols ;
- Végétation

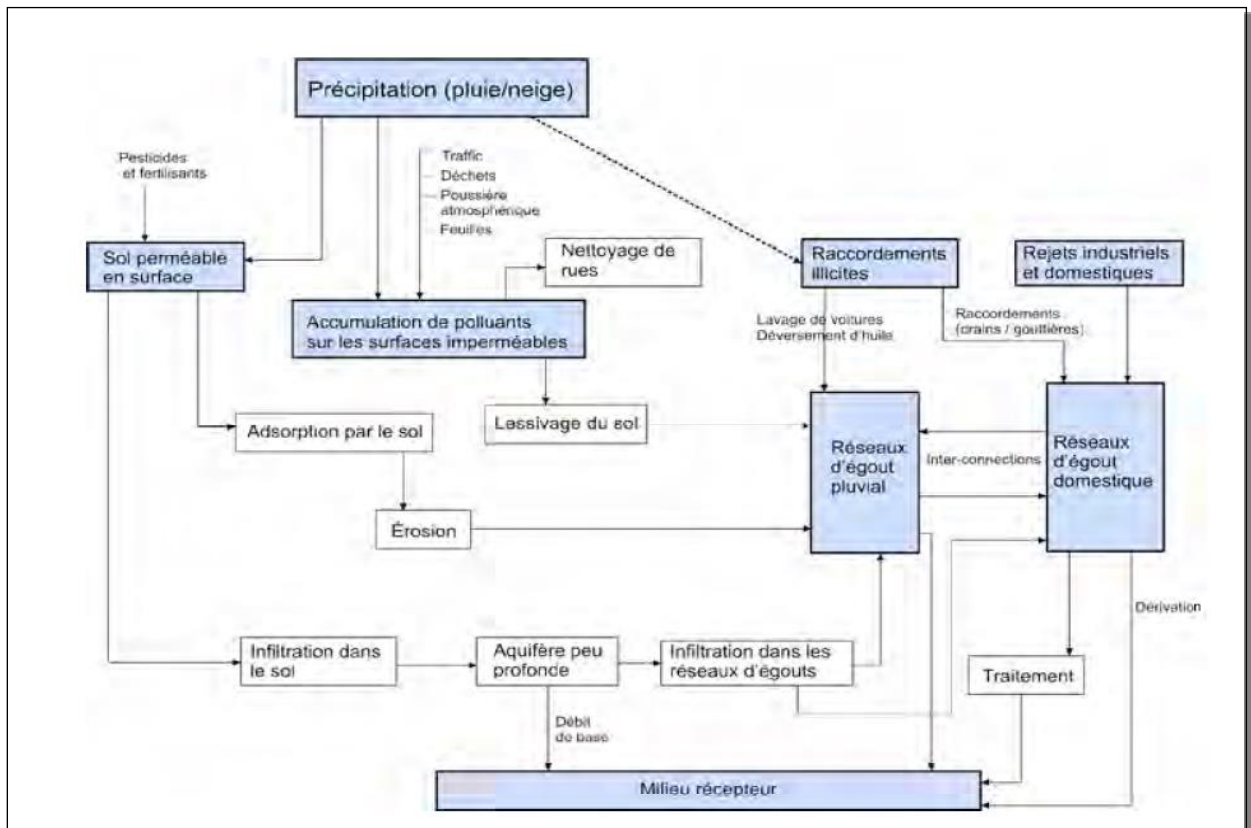


Figure 23: Diagramme schématique des sources de pollution pour une zone urbaine.

La pollution des eaux de ruissellement urbain est un concept qui a maintenant été bien intégré. Cependant ce concept est souvent mal compris et différents éléments sont confondus à tort. Il est ainsi important de bien distinguer :

❖ **Pollution de l'eau de pluie**

L'eau de pluie n'est pas totalement pure. En effet les gouttes d'eau ne peuvent atteindre une taille suffisante pour tomber vers le sol que s'il existe des particules solides dans l'atmosphère permettant d'initier le processus de nucléation. Une partie des polluants atmosphériques urbains sont donc entraînés vers le sol lors des périodes pluvieuses. Les concentrations en polluants sont cependant extrêmement faibles, et, dans la plupart des situations, l'eau de pluie est de qualité potable lorsqu'elle arrive au niveau du sol. Le facteur limitant le plus fréquent est le pH (pluies acides), mais cette acidité est très rapidement tamponnée par les matériaux sur lesquels elle ruisselle où qu'elle traverse.

❖ **Pollution des eaux de ruissellement pluvial**

En arrivant au sol, l'eau de pluie va d'une part lessiver les surfaces sur lesquelles elle s'écoule et d'autre part éroder les matériaux de surface. Les contaminants peuvent soit être dissous, soit être fixés sur les particules entraînées par l'eau. L'augmentation de la concentration en polluants dépend de facteurs multiples : intensité de la pluie, importance des ruissellements, nature du matériau de surface, nature des activités sur ou à proximité de la surface, etc.

Ceci explique la très grande variabilité des concentrations trouvées dans la littérature. Notons cependant que les eaux de ruissellement respectent presque toujours la qualité « eau de baignade ».

En pratique, le facteur le plus important reste la distance parcourue par l'écoulement. De façon assez basique, si la goutte d'eau parcourt plusieurs dizaines de mètres pour rejoindre un avaloir, elle se chargera beaucoup plus en polluants que si elle s'infiltré exactement là où elle est tombée et ne traverse que quelques centimètres de matériaux potentiellement pollués ou érodables.

❖ Pollution des rejets pluviaux stricts

Dans un système d'assainissement séparatif classique, les eaux de ruissellement sont recueillies dans un réseau de surface (caniveaux), puis introduites dans un réseau souterrain de conduites et acheminées le plus directement possible vers un exutoire (ruisseau ou ouvrage d'infiltration). La pollution des rejets pluviaux stricts correspond à la pollution mesurée à cet exutoire.

La qualité des rejets pluviaux stricts est beaucoup plus mauvaise que celle des eaux de ruissellement. En effet l'eau se charge en polluants tout au long de son parcours :

- ✓ Dans les caniveaux, où, du fait des pratiques de nettoyage des rues et des modes de vie des citoyens, s'accumulent les polluants,
- ✓ Et surtout, dans le réseau de conduites, qui reçoit, pendant les périodes de temps sec, de multiples résidus, en particulier le produit du nettoyage des rues et des places de marché et les rejets divers de citoyens qui utilisent les avaloirs de rues comme des poubelles.

❖ Pollution des rejets urbains de temps de pluie

Dans les villes françaises les réseaux séparatifs ne sont pas généralisés, et lorsqu'ils existent, la séparation des eaux usées et des eaux pluviales est rarement réalisée de façon parfaite. Ceci signifie que les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) ne sont généralement pas des rejets pluviaux stricts, mais des mélanges d'eau usée et d'eau pluviale par des déversoirs d'orage, voire parfois, par des exutoires réputés strictement pluviaux. Les chiffres les plus souvent cités pour indiquer le fort degré de pollution des eaux rejetées par temps de pluie sont souvent ceux des effluents de réseau unitaire, ce qui explique d'une part leur très forte variabilité et d'autre part leurs fortes concentrations moyennes.

I.2. Caractérisation des eaux pluviales

La caractérisation de la qualité des eaux pluviales dépend fortement de la durée des périodes de temps sec antérieures durant lesquelles les polluants s'accumulent sur les surfaces avant d'être entraînés par le ruissellement urbain dans les réseaux d'égouts pluviaux lors de la prochaine pluie.

La quantité de contaminants présents dans les eaux de ruissellement a un impact majeur sur la qualité des eaux du milieu récepteur et engendre des problèmes au niveau de la gestion des eaux sur le bassin versant, soit pour l'approvisionnement en eau potable, pour la conservation des habitats aquatiques, des aspects esthétiques et des activités récréatives. Il n'est pas évident de juger de la qualité d'une eau puisqu'elle a tendance à être jugée selon l'usage qu'on lui confère.

Par exemple, les paramètres de qualité des eaux seront différents si on autorise la baignade, si on veut la consommer, s'il y a présence d'une prise d'eau ou s'il existe un écosystème fragile à protéger.

Après l'accumulation et le dépôt des polluants en période sèche, l'érosion et la mobilisation des polluants entrent en jeu lors de pluies suffisamment importantes pour générer du ruissellement (la quantité de pluie nécessaire pour générer du ruissellement sur les surfaces imperméables étant plus faible (1 à 1,5 mm) que pour les surfaces perméables). Les deux paramètres pluviométriques importants pour caractériser l'ampleur et l'intensité du lessivage sont la hauteur totale de pluie durant l'événement et l'intensité maximale sur une durée courte.

La génération de pollution par le ruissellement urbain est souvent décrite et modélisée en utilisant les concepts d'accumulation et de lessivage.

Il est tout d'abord important de distinguer entre le dépôt, l'accumulation et le lessivage des polluants. Le dépôt est le processus par lequel les polluants atteignent le sol ; l'accumulation comprend les polluants qui demeurent ou ils se sont déposés ; finalement le lessivage se produit lors d'un événement pluvieux. L'accumulation est moindre que le dépôt sur les surfaces imperméables parce que la turbulence des véhicules et le vent entraînent les particules déposées vers les surfaces gazonnées ou elles sont subséquentement retenues.

On peut par ailleurs distinguer deux composantes pour l'accumulation : une composante dynamique par laquelle l'accumulation et les taux d'enlèvement sont dans un état d'équilibre dynamique et une composante « permanente » de stockage, qui est fonction du type de surface et des conditions locales.

L'accumulation totale est la somme du stockage permanent et de la quantité de particules accumulées depuis la dernière pluie ou le dernier nettoyage mécanique.

Le lessivage est le processus par lequel les particules accumulées sont lessivées par le ruissellement et entraînées par les débits génères.

Les caractéristiques observées pour le lessivage dépendent des caractéristiques de l'évènement pluvieux, des caractéristiques du bassin versant et de la nature des sédiments accumulés. Concernant l'évènement pluvieux, quatre variables hydrologiques ont une influence.

L'intensité de la pluie et la quantité totale tombée, le débit ainsi que le volume de ruissellement. Pour les caractéristiques du bassin versant, elles peuvent être spécifiées selon l'occupation du sol (par exemple résidentiel, industriel/commercial et non développé) ou selon le matériau de la surface ou de fonction (comme des rues ou des toits). Les activités de construction et le remaniement des sols en place peuvent avoir un impact important sur la quantité et la qualité des eaux lessivées.

Plusieurs études ont mis en évidence le fait que les sols remanés étaient de loin le type d'occupation du sol ayant le plus d'influence sur la quantité de particules lessivées lors d'un évènement pluvieux et c'est pourquoi le contrôle des sédiments durant les activités de construction devrait être un élément inclus dans les plans de gestion de la qualité des eaux de ruissellement.

Le lessivage a souvent été représenté par des relations de forme exponentielle tendant vers une valeur maximale pour laquelle il y a un équilibre entre l'accumulation et l'enlèvement a un site en particulier.

Dans une revue détaillant les différentes approches utilisées pour décrire le lessivage, c'est un processus de surface contrôlé par l'énergie de la pluie (intensités instantanées maximum) et des débits génèrent (capacité de transport). Lorsque la pluie commence, une certaine portion des particules est délogée de la surface et mise en suspension dans la couche fine de ruissellement par l'énergie des gouttes de pluie. Au fur et à mesure que le film d'eau augmente et commence à couler, l'énergie de cet écoulement maintient les particules en suspension et les transporte.

Les différents paramètres jouant un rôle dans le processus de lessivage sont importants à considérer puisqu'ils peuvent avoir un impact direct sur la caractérisation des polluants. Ainsi, pour une intensité de pluie plus forte et des quantités totales plus grandes, les concentrations en augmentées, ce qui est confirmé par les observations et mesures qui ont été faites.

I.3. Méthodes utilisables pour la réduction de la pollution

I.3.1. Les principes d'une gestion intégrée de l'eau

La gestion des eaux pluviales doit se faire à plusieurs échelles qui s'imbriquent l'une dans l'autre, ce qui permet de bien établir les contraintes et les objectifs de contrôle qui sont nécessaires à tous les niveaux.

I.3.1.1. Vous pouvez restreindre la collecte des eaux pluviales...

Voire déconnecter les eaux de toiture quand le site s'y prête. Ces eaux sont généralement peu polluées et peuvent être réutilisées avec la mise en place de cuves ou infiltrées sur place. Soulager le réseau permet d'éviter la saturation de la station d'épuration, de limiter les débordements et les rejets directs par temps de pluie, et donc de réduire la pollution des milieux naturels.

I.3.1.2. Vous pouvez limiter le ruissellement à la source

C'est la solution la plus en amont et la plus efficace, puisqu'il s'agit de ne pas modifier le cycle naturel de l'eau, donc ne pas imperméabiliser. Ce principe est notamment essentiel pour toute nouvelle urbanisation, mais aussi pour les zones rurales en amont des zones urbanisées. Il présente l'avantage de ne pas concentrer les flux d'eau, de ne pas concentrer la pollution entraînée par le ruissellement et de maintenir l'alimentation naturelle des eaux souterraines.

I.3.1.3. Vous devez réguler les flux collectés

Si la collecte ne peut être évitée, les eaux doivent être ralenties ou stockées temporairement avant d'être restituées, à débit contrôlé, dans le réseau d'assainissement. Là encore, la saturation du réseau par temps de pluie est évitée et la capacité d'évacuation et de traitement des eaux optimisée.

Pour un stockage temporaire des eaux pluviales, vous pouvez concevoir des espaces à vocations multiples, particulièrement appréciés par les usagers, et permettant une optimisation des aménagements publics : terrain de sport, cour d'école, parkings, parcs et placettes... En effet, ces surfaces ne sont inondées que très occasionnellement. Le stockage temporaire en toiture est également possible et permet des choix architecturaux différents : toitures végétalisées, toitures-terrasses ou stockage en caissons sur des toits en pente.

I.3.1.4. Pour piéger la pollution à la source, la décantation et la filtration constituent le traitement le plus efficace

En effet, la pollution pluviale est essentiellement transportée par les particules. Les dispositifs de type cloisons siphoides, deshuileurs ou séparateurs à hydrocarbures, supposés piéger les huiles à la surface de l'eau, sont donc d'une très faible efficacité.

La décantation peut être optimisée dans les ouvrages de stockage temporaire. La filtration, simplement par le passage de l'eau dans une couche de sol suffisante, est favorisée dans les ouvrages d'infiltration et de drainage.

I.3.2. Principes pour limiter la pollution des eaux pluviales et leur impact sur les milieux aquatiques

Contrairement à la gestion dite « passive », la gestion dite « active » est un mode de gestion qui limite la formation des phénomènes de ruissellement et leurs conséquences de façon pérenne. Elle doit être privilégiée afin d'anticiper les dysfonctionnements et doit être mise en œuvre en complément de la construction d'ouvrages structurants dans les cas où des dysfonctionnements sont déjà constatés.

Cette gestion des eaux pluviales est dite alternative, dans le sens où elle constitue une alternative à la gestion classique du « tout tuyau » qui assure une évacuation rapide des eaux vers l'aval.

L'organisation et la structuration des villes sont très marquées par le relief et le réseau hydrographique naturel. Les villes ont souvent été construites à proximité des cours d'eau, ressource indispensable mais aussi source de risques. Le développement urbain a très vite été associé à la nécessité de se protéger contre les inondations et d'évacuer les eaux usées, puis les eaux pluviales. En zone rurale, le puits perdu était la technique la plus répandue, mais la concentration urbaine a conduit à trouver de nouvelles solutions, plus hygiénistes. C'est le concept du « tout-à-l'égout » ou du « tout au réseau »

En effet, elle repose sur une gestion « à la source » des eaux pluviales qui vise la régulation et la dépollution des eaux pluviales au plus près de l'endroit où elles tombent.

Ce mode de gestion « à la source » permet de limiter la pollution des eaux pluviales et d'éviter la concentration des flux (débits et charges) vers un point unique. Leur fonctionnement s'appuie sur deux grands principes :

- l'infiltration de l'eau dans le sol lorsque celle-ci s'avère possible, pour réduire les volumes rejetés vers l'aval, - le ralentissement et la rétention des écoulements pour limiter les débits de ruissellement vers l'aval et favoriser la décantation des eaux.

Véritables plus-values environnementales, les systèmes d'infiltration contribuent à recharger les nappes souterraines et participent au maintien de la ressource en eau.

Des systèmes de récupération peuvent être associés aux ouvrages de collecte et de régulation afin de valoriser les eaux de pluie pour certains usages tels que l'arrosage.

La surface raccordée sur les ouvrages peut être plus ou moins grande. La gestion « à la parcelle », autre terme fréquemment employé pour parler de la gestion « à la source », peut concerner différentes échelles telles que par exemple, le bâtiment, la parcelle privée, les espaces publics d'un lotissement ou d'un quartier.

Les ouvrages qui peuvent être mis en place pour assurer cette gestion « à la source » sont diversifiés et permettent de gérer qualitativement et quantitativement les eaux pluviales de façon intégrée et durable : citons par exemple les noues, les tranchées drainantes, les bassins à ciel ouvert ou enterrés, les puits d'infiltration.

I.3.2.1. Agir à la source

Pour les pollutions dissoutes ou particulières la gestion à la source est la plus efficace. Pour abattre au mieux cette pollution, trois principales actions doivent être conduites :

- Limiter l'imperméabilisation des sols et donc les ruissellements. Si l'artificialisation des sols est parfois difficile à contenir elle peut être compensée par la création de toitures végétalisées stockantes ou l'utilisation de revêtement poreux pour les parkings ou les terrasses.
- Favoriser, dès la conception des aménagements, l'utilisation de matériaux peu ou pas toxiques de manière à produire un environnement sain (proscrire notamment les toitures et les façades complètement en zinc ou en cuivre). De la même manière, il s'agit également de limiter les apports en polluants provenant de l'entretien des surfaces (proscrire l'utilisation de pesticides).

Cette action est de loin la plus efficace. Elle permet de plus d'éviter la mise en œuvre d'ouvrages de traitement pour les pollutions particulières.

- Traiter la pollution particulaire au plus près de la source. Le stockage des eaux pluviales à la parcelle permet de réguler les rejets d'eaux pluviales vers les milieux récepteurs mais aussi de favoriser les phénomènes de décantation. Les volumes de ruissellement étant mieux maîtrisés à l'amont qu'à l'aval, le risque de relargages de polluants y est plus faible.

I.3.2.2. Favoriser la décantation et la filtration

Les dispositifs de traitement de la pollution des eaux pluviales dans des systèmes séparatifs font le plus souvent appel à deux principes mécaniques qui peuvent se combiner : la décantation et la filtration.

Dans les ouvrages de décantation, on cherche à maintenir les eaux sans vitesse le plus longtemps possible pour que les particules en suspension dans l'eau tombent sous leur propre poids au fond de l'ouvrage. C'est la sédimentation qui sera donc recherchée en premier lieu.

Dans les ouvrages de filtration, on fait passer l'eau à travers un filtre constitué de matériaux rapportés (sables ou autres) ou du sol en place et garni ou non de végétation. Là aussi, la lenteur du processus d'infiltration contribue à l'efficacité du filtre.

Le sol et la végétation jouent un rôle de barrière physique ou de filtre qui sera très efficace pour les pollutions particulières.

Pour les polluants dissous, nous ne disposons pas aujourd'hui de résultats probants sur la capacité de ces filtres à les stopper. Les expérimentations faites par l'IRSTEA sur les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical mettent en évidence le bon rendement de ces techniques sur les polluants habituels des eaux de ruissellement urbaines. La pollution par les pesticides reste par contre non traitée.

I.3.2.3. Limiter la concentration des polluants aux points de rejets

✚ Rejet dans les ruisseaux

Les rejets avec de forts débits peuvent avoir des conséquences sur le lit des ruisseaux et entraîner des incisions importantes. Ces modifications du lit des ruisseaux entraînent leur déstabilisation et la perturbation des peuplements (de la biodiversité) en place. Il est donc important de bien répartir les flux de rejet dans les ruisseaux pour ne pas porter atteinte à leur bon état géomorphologique. La valeur de rejet limitée à 5 l/s/ha a été historiquement fixée de façon empirique avec la police de l'eau pour limiter les conséquences des à-coups hydrauliques des rejets dans le lit des ruisseaux.

Eaux de drainage et eaux de source : leur renvoi vers les ruisseaux doit être une priorité pour les projets. Ces sources permettent de garder des débits d'étiages permanents dans les ruisseaux, indispensable au maintien d'une vie aquatique de bonne qualité.

✚ Rejet par infiltration

Les ouvrages d'infiltration les plus extensifs (avec une surface de bassin versant/surface d'infiltration comprise entre 1 et 5) sont non seulement les moins impactant pour la nappe mais également ceux qui sont le moins soumis aux risques de colmatage.

I.3.2.4. Préférer les solutions faciles à contrôler et à entretenir

Les techniques « douces » de gestion des eaux pluviales sont particulièrement efficaces et facilement contrôlables.

A contrario, les techniques de stockage enterrées présentent l'inconvénient d'être difficilement contrôlables et plus onéreuses. Pour ces techniques, il conviendra également de proscrire l'utilisation de matériaux présentant des risques de relargage de toxiques (pneus par exemple).

Enfin, il est précisé que, sauf activités spécifiques de stockage, distribution ou manipulation d'hydrocarbures, les séparateurs d'hydrocarbures ne sont pas susceptibles de répondre à des objectifs de réduction des apports d'hydrocarbures par les ruissellements de temps de pluie sur des surfaces urbaines. En effet, contrairement aux idées préconçues, les hydrocarbures véhiculés par les eaux de ruissellement sont essentiellement sous forme particulaire, c'est-à-dire fixés sur des matières en suspension. Par ailleurs les niveaux de contamination des eaux de ruissellement atteignent rarement 5 mg/l.

L'usage des séparateurs à hydrocarbure doit donc être strictement limité aux zones sur lesquelles les risques de pollution accidentelle par les hydrocarbures est important comme par exemple les aires de distribution d'essence.

Le moyen le plus efficace de piéger les hydrocarbures des eaux pluviales reste, là encore, de créer des conditions favorables à leur décantation.

I.4. Principes généraux pour la gestion des eaux pluviales

I.4.1. Généralités

Certaines caractéristiques différencient la planification de la gestion intégrée des eaux pluviales de l'approche traditionnelle : Dans une perspective de gestion intégrée, les eaux pluviales sont perçues comme une ressource à protéger parce qu'elles sont importantes pour :

- La recharge de la nappe souterraine en vue de maintenir le débit de base dans les cours d'eau ;
- L'alimentation en eau ;
- La vie aquatique (poissons et autres espèces) et la faune ;
- L'esthétique et l'utilisation à des fins récréatives des cours d'eau ;
- ✚ Pour une planification efficace qui tient compte de ces préoccupations, il faut faire intervenir dans la conception des projets les disciplines du génie, des sciences de l'environnement et de l'urbanisme ;

- ✚ La conception doit tenir compte du spectre complet des événements pluvieux et non seulement des orages importants, qui sont rares. Il est entendu que l'écologie naturelle est le produit des conditions moyennes plus que des conditions extrêmes, et qu'elle en dépend. Il faut donc examiner la distribution annuelle des pluies sur un territoire ou un bassin versant, et maintenir le plus possible les débits de pointe, les volumes de ruissellement et les autres caractéristiques hydrologiques dans leur état proche des conditions naturelles ;
- ✚ On reconnaît l'importance de maintenir le débit de base dans les rivières et les cours d'eau ;
- ✚ On reconnaît l'importance de tenir compte de la capacité des cours d'eau récepteurs d'assimiler les débits prévus.

I.4.2. Critères de qualité pour la protection de la vie aquatique et des milieux récepteurs

La vie aquatique, tant celle qui est présente dans un plan d'eau que celle qui devrait s'y retrouver si le plan d'eau n'était pas déjà affecté, doit être protégée contre toute agression provenant des effets directs des substances toxiques, ou des effets indirects liés, par exemple, à une baisse en oxygène dissous ou au dépôt de matières en suspension.

I.4.3. Critères de qualité pour la protection de la faune terrestre piscivore

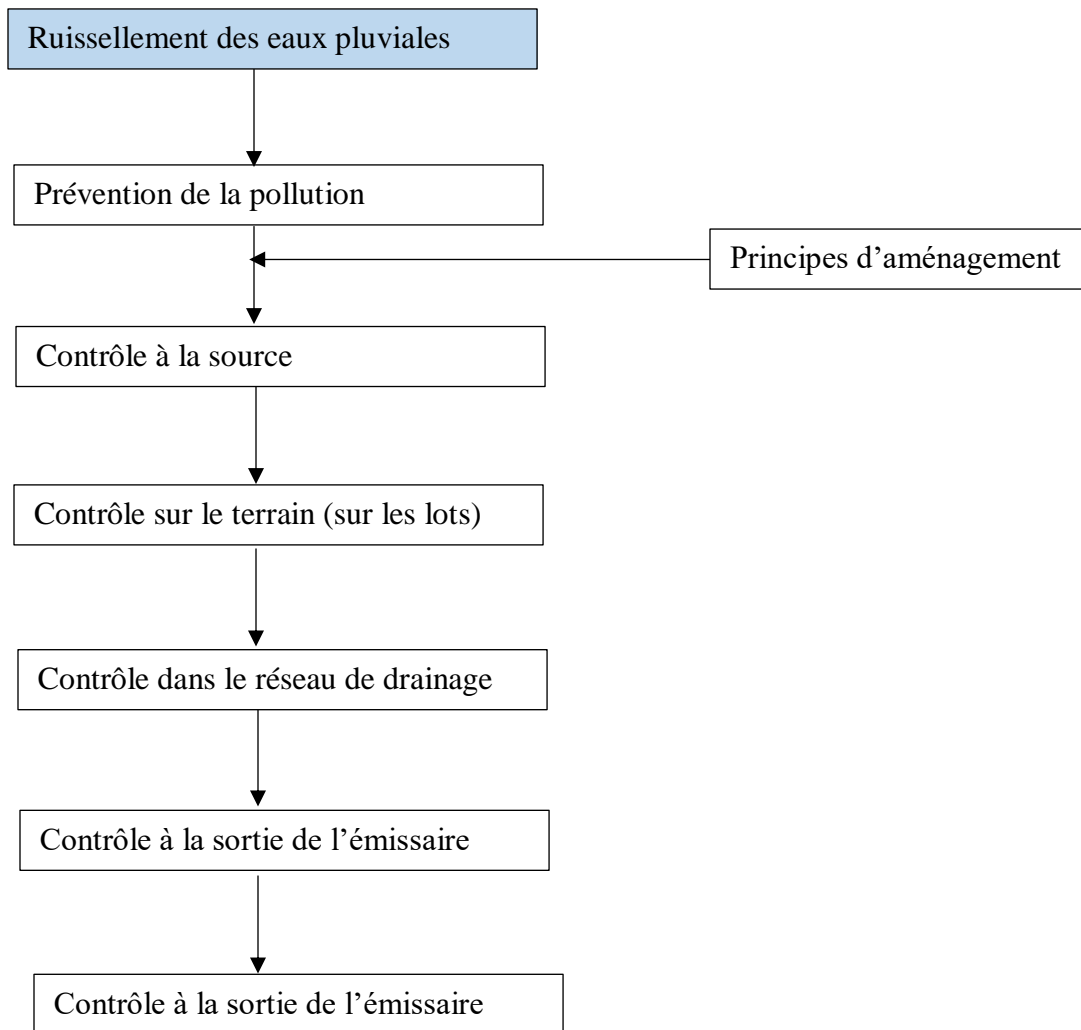
La faune terrestre piscivore est définie ici par les espèces non domestiques des classes taxonomiques aves et mammalia (oiseaux et mammifères). Les critères de qualité pour la faune terrestre piscivore (CFTP) correspondent à la concentration d'une substance dans l'eau qui ne causera pas, sur plusieurs générations, de réduction significative de la viabilité ou de l'utilité (au sens commercial ou récréatif) d'une population animale exposée par sa consommation d'eau ou son alimentation. Le critère final pour la faune terrestre piscivore est la valeur la plus basse entre celle calculée pour protéger les espèces aviennes et celle calculée pour protéger les mammifères.

I.4.4. Critères de qualité pour la protection des activités récréatives et des aspects esthétiques

Les critères de qualité pour la protection des activités récréatives visent principalement à prévenir les dangers pour la santé liés au contact direct ou indirect avec l'eau mais ils couvrent aussi les aspects esthétiques de la ressource. Les critères associés aux activités récréatives à contact primaire visent à protéger les activités où tout le corps est régulièrement en contact avec l'eau, comme chez les baigneurs et les véliplanchistes. Sous la même rubrique apparaissent les critères d'activités à contact secondaire qui visent à protéger les autres activités comme la navigation de plaisance, le canotage, la pêche, etc., au cours desquelles le corps est en contact moins fréquent avec l'eau. Une note accompagnant le critère indique alors s'il s'applique aux activités à contact secondaire. Finalement, le critère pour les aspects esthétiques vise à protéger les aménagements riverains tels les parcs, haltes routières, lieux de séjour et campings de tout impact visuel négatif.

I.4.5. Résumé des critères et sélection d'un plan de gestion des eaux pluviales

De façon générale, l'objectif de base qui doit être visé par une planification pour la gestion des eaux pluviales est de préserver le cycle hydrologique naturel, en tenant compte des quatre aspects (contrôle quantitatif, contrôle de l'érosion, contrôle qualitatif et contrôle pour la recharge ou le maintien du cycle hydrologique de base). Le niveau idéal de planification pour définir adéquatement les différents ouvrages et pratiques de gestion optimales qui permettront d'atteindre ces objectifs est évidemment à l'échelle du bassin versant ou du sous-bassin.



Source : Tiré et adapté de l'UDFCD (1992), Urbonas et Roesner (1993), MOE (2003) ; InfraGuide (2003).

Figure 24 : Chaîne de traitement relative au contrôle du ruissellement.

I.5. Conclusion

Une gestion efficace des eaux pluviales consiste donc à recréer les conditions naturelles d'écoulement des eaux en :

- ✚ **Limitant l'imperméabilisation des sols ;**
- ✚ **Favorisant l'infiltration ou la restitution lente des eaux au milieu récepteur ;**
- ✚ **Limitant les rejets polluants directement vers les milieux.**

Références

AROUA A. (1994) -L'homme et son milieu. Edition société national. Alger,73-85p.

BALEH K, Mémoire, thème : Conception de station d'épuration de la ville d'AZAZGA, (W. TIZI OUZOU), ENSH, Novembre 2011.

BOUZIANI M. (2000) -L'eau de la pénurie aux maladies. Edition IBN-Khaldoun. Oran. 247p.

Chassande I (1998) La politique française de maîtrise des pollutions azotées : La nitrification tertiaire par cultures fixées. TSM. Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural, (3), 9-12.

Daloz, A., Gaertner-Mazouni, N., Barral, M., Malet, N., Moragues, L., Fiandrino, A., & Munaron, D. (2009, Décembre). Le Réseau de Suivi Lagunaire: un outil de diagnostic et d'aide à l'action pour la lutte contre l'eutrophisation des lagunes [archive]. Une stratégie d'information et de transfert aux acteurs. In 4 th European Conference on coastal lagoon Research (résumé [archive])

Devidal S, C. Rivard-Sirois, M-F. Pouet, O. Thomas, (2007), Solutions curatives pour la restauration de lacs présentant des signes d'eutrophisation [archive], rapport interne, Observatoire de l'environnement et du développement durable, Université de Sherbrooke – RAPPEL, Sherbrooke, Québec, Canada (PDF, 51 pages).

Lacaze JC (1996) L'eutrophisation des eaux marines et continentales, Ellipses, 191p
L'eutrophisation Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité, collectif d'auteurs, 2018. Editions Quae, 175 p, (ISBN 978-2-7592-2756-3)

MOHAND- SAID OUALI, cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux office des publications universitaire, ben-aknoun (Alger) ,2001.

Renneson, M., Vandenberghe, C., Marcoen, J. M., Bock, L., & Colinet, G. (2009) Évaluation de la pertinence du taux de saturation en phosphore en tant qu'indicateur de bonnes pratiques en matière de fertilisation phosphorée dans les sols agricoles en Région wallonne (Belgique) [archive]. Actes des 10èmes journées d'étude des sols.

Saunier B & Le Saout M (1985) Bilan des substances nutritives dans les retenues d'eau. Contrôle de l'eutrophisation. Techniques et sciences municipales (1971), (6), 276-288.

REGIS Bourrier, M.S, B.S, Gide technique de l'assainissement 4^e édition LE MONITEUR, 2010.

Rodier, J., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris : Dunod ; 8^e édition

Solène M et David et Milena S, Traitement des eaux usées, CERES-ERTI ; 24 rue Lhomond 75005 Paris, 2013.

Timstet C., 1997, Le traitement du phosphore constitue-t-il une bonne réponse aux risques d'eutrophisation ? ENGREF, Montpellier, 9 p.

THOMAS O. (1955) -Météorologie des eaux résiduaires, Tec et Doc, Ed Lavoisier, Cedeboc, 135-192p.

TSM La nitrification tertiaire par cultures fixées [archive], 1998 - 64 pages

T Seyen J (1986) Élimination du phosphore des eaux résiduaires par voie biologiques : activité de la polyphosphate-kinase : utilisation d'une phase acidogène en amont d'un système de type " Phoredox modifié" (Doctoral dissertation, Metz).

<http://www.safewater.org/>