

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO
(U.P.B)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL
(IDR)



MEMOIRE

Présenté par **KO Hamidou**

en vue de l'obtention du

Diplôme d'Etudes Approfondies en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles,

Spécialité Production Végétale, Option Sciences du Sol

THEME :

**Influence des rejets industriels sur la pollution des eaux
à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)**

Devant le jury composé de :

Président : Prof. Michel P. SEDOGO, Directeur de Recherche CNRST/INERA

Membres :

Prof Antoine SOME, Maître de Conférences IDR/UPB

Prof. Hassan Bismarck NACRO, Maître de Conférences IDR/UPB

Dédicace

A

Mes parents,

A

Mes amis

Et ...

*A tous ceux qui ont eu l'idée de créer l'IDR et ceux qui voudront
bien le préserver.*

Table des matières

Dédicace.....	(i)
Table des matières	ii
Remerciements.....	iv
Sigles et Abréviations	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vi
<i>Résumé</i>	vii
<i>Abstract</i>	viii
Introduction	1
Chapitre I : Pollution des eaux, environnement industriel au Burkina Faso	3
1.1. Pollution des eaux.....	3
1.1.1. <i>Définition</i>	3
1.1.2. <i>Les différents types de pollution des eaux</i>	3
1.1.3. <i>Les modes de contamination des eaux</i>	4
1.1.4. <i>Les conséquences liées à la pollution des eaux</i>	5
1.1.5. <i>Les principales sources de contamination des eaux</i>	6
1.1.5.1- <i>Les déchets urbains</i>	6
1.1.5.2. <i>Les déchets agricoles</i>	7
1.1.5.3. <i>Les déchets industriels</i>	7
1.2- L'environnement industriel du Burkina Faso.....	8
1.2.1- <i>Importance du secteur industriel</i>	8
1.2.2- <i>Les principales unités industrielles de Bobo-Dioulasso et leur système de gestion des déchets</i>	9
1.3. Cadre réglementaire sur la qualité de l'eau	11
1.3.1. <i>Au niveau international</i>	11
1.3.2. <i>Au niveau national</i>	12
1.4. Conclusion	12
Chapitre II : Cadre d'étude, matériel et méthodes d'études.....	14
2.1-Zone d'étude	14
2.1.1- <i>Situation géographique</i>	14
2.1.2- <i>Climat</i>	14
2.1.2.1- <i>Pluviosité</i>	14
2.1.2.2- <i>Températures</i>	15
2.1.3. <i>Hydrographie</i>	15
2.1.4. <i>Hydrogéologie</i>	16
2.2. Matériel d'étude.....	18
2.3- Méthodes d'étude	18
2.3.1- <i>Échantillonnage des eaux</i>	18
2.3.1.1- <i>Choix des unités industrielles</i>	18
2.3.1.2- <i>Repérage des points de prélèvement</i>	18
2.3.1.3- <i>Prélèvement des échantillons</i>	20
2.3.2- <i>Paramètres analysés</i>	20
2.3.2.1. <i>Paramètres mesurés in situ</i>	20
2.3.2.1.1. <i>Le pH</i>	20
2.3.2.1.2. <i>La conductivité électrique</i>	21
2.3.2.1.3. <i>La température</i>	21
2.3.2.1.4. <i>L'oxygène dissous</i>	21

2.3.2.2. Les paramètres de pollution organique.....	21
2.3.2.2.1. Les matières en suspension (MES).....	21
2.3.2.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	22
2.3.2.2.3. La demande chimique en oxygène (DCO).....	23
2.3.2.2.4. Evaluation de la biodégradabilité.....	23
2.3.2.3. Les substances eutrophisantes.....	24
2.3.2.4. Les métaux lourds.....	24
2.3.2.5. Les chlorures.....	26
2.3.2.6. La dureté totale.....	26
2.3.2.7. Alcalinité (TA/TAC).....	26
2.3.2.8. Analyse microbiologique des eaux.....	27
Chapitre III: résultats et discussions.....	28
3.1-Caractérisation des rejets industriels.....	28
3.1.1-Résultats.....	28
3.1.1.1-Variation des paramètres mesurés in situ.....	28
3.1.1.2-Evaluation de la charge organique des rejets.....	29
3.1.1.3-Evaluation de l'eutrophisation des eaux.....	32
3.1.1.4-Evaluation des éléments traces métalliques (ETM) dans les rejets.....	33
3.1.1.5-Evaluation de la charge bactériologique des rejets.....	34
3.1.2 Discussion.....	35
3.1.3. Conclusion.....	38
3.2-Influence des rejets industriels sur la pollution des eaux.....	38
3.2.1. Résultats.....	38
3.2.1.1. Analyse des eaux des puits.....	38
3.2.1.2. Variation de la qualité des eaux du marigot Houet.....	40
3.2.1.3. Variation de la qualité des eaux du canal BRAKINA et du marigot Bingbéle.....	44
3.2.1.4. Variation de la qualité des eaux de l'affluent du Kou.....	46
3.2.1.5. Analyse des eaux de la lagune de la zone industrielle (LZI).....	48
3.2.2. Discussion.....	49
3.2.2.1. Influence des rejets industriels sur la qualité des eaux des puits.....	49
3.2.2.2. Influence des rejets industriels sur la pollution des eaux de surface.....	50
3.2.3. Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	57
Perspectives.....	58
Références bibliographiques.....	59

Annexes

Remerciements

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du projet "*Perceptions des problèmes environnementaux des dirigeants d'entreprise au Burkina Faso et stratégies d'opérationnalisation du développement durable*". De nombreuses personnes m'ont beaucoup apporté au niveau scientifique mais aussi personnel, et sans qui, ce travail n'aurait pu aboutir. Quel que soit le niveau de participation, que chacune d'elles trouve ici la part de reconnaissance que je lui témoigne.

Je voudrais tout d'abord remercier les **initiateurs de ce projet interdisciplinaire** qui ont le souci de contribuer à la préservation des ressources environnementales en dégradation.

J'exprime ma profonde gratitude au **Pr. NACRO Hassan Bismarck**, qui m'a fait confiance en me proposant ce sujet de DEA et qui, malgré ses multiples occupations, n'a ménagé aucun effort pour m'assurer un encadrement de qualité. Sa rigueur dans le travail et son souci du travail bien fait, ont été pour moi un enseignement.

Je suis très reconnaissant au **Dr. OUEDRAOGO Denis**, Responsable du projet, qui a mis à ma disposition tous les moyens et les ressources nécessaires à sa réalisation.

J'exprime ma profonde gratitude au **Dr Sansan YOUL**, Chercheur à l'IFDC, pour l'aide inestimable apportée pour le traitement statistique de nos résultats.

Ce travail n'aurait pas été possible si **Messieurs Tidiane ZOUGOURI** et **Richard ZOUNDI** qui se sont succédé à la direction du LNAE, ne m'avaient pas accueilli au sein du « Labo ». Je les en remercie. J'en profite pour exprimer ma sincère reconnaissance à **Mr Delwendé NABAYAOGO**, qui a consacré énormément de temps pour me faire partager et me transmettre une partie de son savoir de Chimiste de l'environnement en particulier ses connaissances de la caractérisation des déchets industriels. Je dis également merci à tous les techniciens du LNAE qui ont surtout su me faire partager leurs connaissances et passions.

Je n'oublierai pas **Mr Lambiénou YE**, Doctorant au LERF, pour ses orientations, ses suggestions et ses encouragements. Sa parfaite connaissance de la zone de Bobo-Dioulasso a été un atout important lors du travail de terrain.

Je remercie très chaleureusement mes parents et tous mes amis qui n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager dans les études. Enfin, je voudrais exprimer ici ma reconnaissance envers l'ensemble du corps professoral qui m'a permis de progresser.

Sigles et Abréviations

ACMAD:	African Centre of Meteorological Application for Development
AFNOR :	Association Française de Normalisation
APHA :	American Public Health Association
BIOGEO :	Biosphère Géosphère
BMZ :	Ministère Fédéral de la Coopération et de Développement Economique
CEE :	Communauté Economique Européenne
CNS :	Comité Normes et Standards
CREPA :	Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût
DBO₅ :	Demande Biologique en Oxygène au bout de cinq jours
DCO :	Demande Chimique en Oxygène
DRAHRH :	Direction Régionale de l'agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
DVGW :	Office Allemand de la Santé Publique
ECOLOC :	Economie Locale
ENEF :	Ecole Nationale des Eaux et Forêt
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GIEC :	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur les Changements Climatiques
GIRE :	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
IDR :	Institut du Développement Rural
LERF :	Laboratoire d'Etudes et de Recherche pour la Fertilité des sols
LNAE :	Laboratoire National d'Analyse des Eaux
MECV :	Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
MES :	Matières En Suspension
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
ONEA :	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
PDC :	Plan de Développement Communal
PME :	Petites et Moyennes Entreprises
PSAB :	Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Bobo-Dioulasso
SEPA :	United States Environmental Protection Agency
SN-SOSUCO :	Société Nouvelle-Société Sucrière de la Comoé
UFC :	Unité Format Colonie

Liste des figures

Figure 1 : Illustration du modèle de transfert des polluants d'après Goldscheider (2005	5
Figure 2 : Carte de situation géographique de Bobo-Dioulasso	14
Figure 3 : Pluviosité décadaire de la ville de Bobo-Dioulasso, 2008	15
Figure 4 : Profondeur de la nappe phréatique à Bobo-Dioulasso	17
Figure 6 : Schéma résumant le principe du spectromètre HACH DR/2400	25
Figure 7 : Evolution des teneurs en MES dans les rejets industriels	30
Figure 8 : Evolution des teneurs en DBO5 et en DCO dans les rejets industriels	31
Figure 9 : Concentrations d l'ammonium et des orthophosphates dans les rejets pendant les deux campagnes	33
Figure 10 : Evolution spatiale de la conductivité et des nitrates dans les eaux des puits	40
Figure 11 : Evolution spatio-temporelle de la pollution organique du Houet en Fonction des points.....	422
Figure 12 : Evolution de la conductivité électrique moyenne dans le Houet en fonction des points.....	43
Figure 13 : Evolution des teneurs en substances eutrophisantes et en métaux lourds dans le Houet en fonction des points d'échantillonnage.....	433
Figure 14 : Evolution spatio-temporelle des éléments majeurs dans les eaux du canal BRAKINA et du Bingbéle.....	45
Figure 15 : Teneurs moyennes des éléments mineurs dans les eaux du canal BRAKINA et du Bingbéle.....	45
Figure 14 : Evolution spatio-temporelle de quelques paramètres sur l'affluent du Kou	47
Figure 17 : Evolution des teneurs des substances eutrophisantes sur l'affluent du Kou	47
Figure 18 : Evolution des teneurs des métaux lourds sur l'affluent du Kou.....	48

Liste des tableaux

Tableau 1 : Maladies provoquées par les eaux contaminées	6
Tableau 2: Caractéristiques chimiques des déchets urbains de quelques décharges à Bobo-Dioulasso.....	7
Tableau 3 Facteur de conversion de la DBO5 en fonction du volume de prise.....	23
Tableau 4 : Réactifs et références des méthodes à la spectrométrie	25
Tableau 5 : Valeurs moyennes des paramètres in situ	28
Tableau 6 : Teneurs moyennes des paramètres de pollution organique	29
Tableau 7 : Concentrations moyennes des substances eutrophisantes des les rejets	32
Tableau 8 : Concentrations moyennes de quelques métaux dans les rejets	34
Tableau 9 : Charge bactériologique des rejets industriels	34
Tableau 10 : Concentrations des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des puits étudiés	39
Tableau 11 : Teneurs moyennes de quelques paramètres dans la LZI.....	48

Résumé

La pollution des eaux à Bobo-Dioulasso est une réalité. Les conséquences annoncées depuis des années continuent à inquiéter la population. Il est urgent de mettre en œuvre des stratégies visant à protéger durablement la qualité des ressources en eau. La maîtrise des différentes sources de pollution demeure une voie efficace. L'industrie, indexée comme la principale responsable de la pollution des eaux à Bobo-Dioulasso à cause de sa production importante des déchets et de leur non maîtrise, mérite une attention particulière. Ce travail a eu pour objectif d'étudier le caractère polluant de certains rejets industriels et leur influence sur la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines en vue d'adapter les stratégies de minimisation de leurs effets. L'étude s'est basée sur des prélèvements d'échantillons d'eau pendant deux campagnes (le 15/09/2008 et le 15/10/2008), à la sortie de six (06) établissements industriels, et au niveau de 14 points (8 dans les eaux de surface et 6 dans les puits) susceptibles d'être atteints par les rejets industriels. Des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été recherchés et quantifiés in situ et au laboratoire. Les résultats ont montré que les rejets industriels sont caractérisés par des charges polluantes plus ou moins fortes selon les unités industrielles. Les normes burkinabè de rejet industriel sont souvent dépassées. Pour la majorité des paramètres étudiés, les teneurs les plus élevées ont été obtenues dans les rejets de l'Abattoir et de la SN-CITEC. Les eaux de surface sont contaminées mais à des degrés divers. Au niveau du marigot Houet, c'est la pollution organique qui est plus marquée, notamment au centre ville. Les teneurs obtenues en MES, en DCO et en DBO₅ sont respectivement de l'ordre de 310 mg/l, 234 mgO₂/l et 30 mgO₂/l. Par contre, au niveau de l'axe canal-BRAKINA et de l'affluent du Kou, pour la plupart des paramètres étudiés, les teneurs sont plus élevées près de la zone industrielle qu'en aval, montrant l'effet direct des rejets industriels sur la pollution des eaux. Les eaux des puits sont également contaminées mais, c'est la pollution bactériologique qui est plus marquée et ce dans la plupart des puits. Pour la majorité des paramètres physico-chimiques, les teneurs obtenues restent en dessous des seuils de potabilité. Toutefois une forte concentration en nitrates est enregistrée au niveau du puits P1 (53 mg/L). La tendance à la baisse des teneurs en nitrates et de la conductivité électrique, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone industrielle, suggère l'influence de la zone industrielle sur la qualité de la nappe.

ch: (jrs)

Mots clés : pollution des eaux, rejets industriels, paramètres physico-chimiques, paramètres bactériologiques, normes de qualité des eaux.

Abstract

The water pollution in Bobo-Dioulasso is a reality. The consequences announced since of the years continue to worry the population. It is urgent to implement strategies aiming at durably protecting quality from the water resources. The control of the various sources of pollution remains an effective way. Industry, indexed like the leading cause of the water pollution in Bobo-Dioulasso because of its important production of waste and their not control, deserves a special attention. This work aimed to study the character polluting of certain industrial wastes and their influence on the subsoil water and water pollution of surface in order to adapt the strategies of minimization of their effects. The study was based on samplings of water during two campaigns (15/09/2008 and the 15/10/2008), at the exit of six (06) industrial plants, and on the level of 14 items (8 in surface water and 6 in the wells) likely to be reached by the industrial wastes. Physicochemical and bacteriological parameters were sought and quantified in situ and at the laboratory. The results showed that the industrial wastes are characterized by more or less strong polluting loads according to production facilities'. The standards burkinabè of industrial waste are often exceeded. For the majority of the studied parameters, the highest contents were obtained in the rejections of the Slaughter-house and the SN-CITEC. The surface water is contaminated but to differing degree. On the level of the Houet backwater, it is the organic pollution which is marked, in particular in the centre town. The contents obtained of SM, DOC and BDO₅ are respectively about 310 mg/l, 234 mgO₂/l and 30 mgO₂/l. On the other hand, on the level of the axis channel-BRAKINA and the affluent of Kou, for the majority of the parameters studied, the contents are higher close to the industrial park than downstream, showing the direct effect of the industrial wastes on the quality of water. Water of the wells is also contaminated but, it is the bacteriological pollution which are marked and this in the majority of the wells. For the majority of the physicochemical parameters, the contents obtained remain below the thresholds of potability. However, a strong nitrate concentration is recorded on the level of the weel P1 (53 mg/l). The downward trend of the nitrates contents and electric conductivity, as one move away from the industrial park, suggests the influence of the industrial park on the quality of the tablecloth.

Key words: *waters pollution, industrial wastes, physicochemical parameters, bacteriological parameters, standards of water quality.*

Introduction

La question environnementale est au cœur des débats depuis les années 1980 avec l'impulsion donnée par la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement. Le rapport du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur les Changements climatiques (GIEC), (2001) indique que ce sont les activités humaines qui provoquent essentiellement la dégradation accélérée des ressources environnementales. Parmi les secteurs d'activités concernés, l'industrie est indexée comme la principale responsable de dégradation des écosystèmes dans plusieurs milieux, incitant chaque pays à prendre en compte la dimension environnementale dans leurs activités de production. Pour s'inscrire dans cette logique de développement durable, le Burkina Faso à travers son Ministère de l'environnement et du Cadre de Vie a organisé un « symposium sur l'entreprise durable » en septembre 2006. Il s'agissait de trouver des mécanismes visant à développer le secteur industriel tout en minimisant ses effets négatifs sur l'environnement.

Au Burkina Faso, comme dans la plupart des pays en voie de développement, le développement rapide du secteur industriel ainsi que la petite taille des entreprises a fait que la composante environnementale a été souvent négligée. Même si l'industrialisation est faible pour l'économie du pays, il reste que pour l'environnement elle est importante ; car elle est l'une des sources majeures de pollution (LNAE, 2004). Malgré, la mise en place des normes de rejet et la réglementation imposant les études d'impact et le pré-traitement des rejets, la pollution est présente et porte atteinte à la santé publique et à l'écosystème. Les actions d'assainissement les plus connues sur le terrain se limitent essentiellement à l'évacuation des déchets solides et à la canalisation des effluents hors des unités industrielles, le plus souvent sans traitement (Bilgo, 1992 ; Ouédraogo, 2003 ; GKW-consult, 2005 ; Lorenzini, 2007).

L'eau, principal solvant naturel, occupe une place importante dans l'activité humaine et apparaît ainsi comme le principal vecteur de la pollution. L'utilisation des cours d'eau comme moyens d'élimination des effluents industriels présente d'énormes conséquences sur l'environnement (Ramade, 1982). L'importance des ressources en eau du bassin versant du Kou ^{avec} Bobo-Dioulasso, ~~comme~~ ville industrielle montre que cette zone est très vulnérable aux phénomènes de pollution des eaux (GIRE, 2001 ; Lorenzini, 2007). Aussi, dans un avenir proche, il est à craindre que la qualité de ces eaux ne soit plus aux normes de potabilité pour l'alimentation humaine, mais également pour beaucoup d'autres utilisations.

Au Burkina Faso, les études d'impact environnemental étaient surtout basées sur la contamination des eaux par les intrants agricoles comme les pesticides, les herbicides, les

engrais minéraux (Pouilleute, 1996; Van Meenen et al., 2001 cité par Somé et *al.*, 2004; Somé et *al.*, 2004; Tapsoba, 2003; Bonzy et *al.*, 2004; Illa, 2004). D'autres se sont penchés sur la pollution des eaux par certains métaux lourds comme le plomb et le cadmium (Semdé, 2005) et la pollution organique des eaux de surface (Zongo, 1991) sans identifier l'origine des substances polluantes. De nombreuses études menées sur la production des déchets industriels (Ouédraogo, 2003; MECV, 2003; SN-SOSUCO, 2003; ONEA, 2005, BRAKINA, 2006) ont signalé la pollution des eaux, comme principal risque environnemental et mérite une étude détaillée afin de trouver des mécanismes visant à le minimiser.

C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude avec pour objectifs de :

- identifier les unités industrielles potentiellement « pollueurs » ;
- caractériser leurs rejets ;
- analyser les caractéristiques physiques et chimiques des eaux ;
- montrer l'impact des rejets sur la pollution des eaux.

L'étude devrait permettre de savoir à quel degré certaines entreprises industrielles à travers l'évacuation de leurs déchets hors des installations, participent à la dégradation de la qualité des eaux en particulier et aux problèmes environnementaux en général. Elle se veut une contribution à la recherche de solutions pour assurer la durabilité de la production industrielle au Burkina Faso. Comme il est à prévoir que les activités industrielles et urbaines s'intensifieront dans toutes les régions du pays, cette question revêt désormais une importance encore plus grande.

Ce mémoire comporte trois chapitres : un premier chapitre aborde les généralités sur la pollution des eaux et sur l'environnement industriel au Burkina Faso ; un deuxième chapitre traite de la méthodologie et du matériel utilisé ; enfin dans un troisième chapitre, les résultats et les discussions suscitées sont présentés.

Chapitre I : Pollution des eaux, environnement industriel au Burkina Faso

1.1. Pollution des eaux

1.1.1. Définition

Selon le Code de l'environnement du Burkina Faso (1997), la pollution consiste en toutes modifications des caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques d'un milieu compromettant les usages qui en sont faits, ou qui pourraient en être faits.

La pollution des eaux est définie comme étant « le rejet de substances ou d'énergie effectuée par l'homme dans le milieu aquatique directement ou indirectement et ayant des conséquences de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources vivantes et au système écologique, à porter atteinte aux agréments ou à gêner d'autres utilisateurs légitimes des eaux» (CEE, 1976 cité par Anafide, 2006). La pollution peut ainsi se définir par rapport à une situation de références variées (Anafide, 2006):

Pour l'écologue, il s'agit de la dégradation du milieu « eau » par l'introduction d'un agent altérage. Cet agent, substance ou facteur (biologique, chimique ou physique) provoque à partir d'une certaine concentration ou intensité une altération gênante ou nuisible de ce milieu. Pour l'utilisateur, l'eau est polluée quand sa qualité ne correspond plus aux exigences de certains usages (domestiques, agricoles ou industriels)

Un polluant est une substance chimique, naturelle ou non, que l'on rencontre dans l'environnement à des concentrations supérieures à la normale suite à l'activité humaine et qui entraîne des troubles biologiques (mort d'individus, apparition de pathologies diverses, perturbations des écosystèmes) (Chalon et al., 2006). Le terme micropolluant reprend les substances responsables de tels troubles à de faibles concentrations dans l'eau (de l'ordre du µg par litre).

Les pollutions qui en résultent peuvent se retrouver aussi bien dans les fossés, les rivières, les fleuves, les canaux, les marais, les lacs, la mer, ainsi que dans les eaux souterraines (Chalon et al., 2006, Rodier 1996).

1.1.2. Les différents types de pollution des eaux

Au cours de son utilisation (fabrication, rinçage, lavage...), l'eau s'enrichit ou s'appauvrit en substances de toutes sortes (matières insolubles ou dissoutes, matières organiques ou

minérales) (DRIRE, 2004). On distingue différents types de pollution selon la nature des polluants :

◆ la pollution organique se compose de substances qui, en se décomposant, consomment l'oxygène présent dans le milieu aquatique et peut provoquer l'asphyxie des espèces animales. Elle est due aux rejets urbains, industriels et agricoles. Elle se caractérise par :

- la demande chimique en oxygène (DCO), qui représente la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation par voie chimique des substances polluantes,
- la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO5), qui exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques contenues dans l'eau par les micro-organismes du milieu,
- le carbone organique total (COT), qui représente la teneur en carbone liée à la matière organique ;
- les matières en suspension (MES) sont des particules minérales ou organiques qui contribuent à la turbidité de l'eau. Elles proviennent naturellement des effets de l'érosion et du plancton. Elles se trouvent dans les rejets urbains ou industriels (Rodier, 1996).

◆ la pollution toxique se compose de substances d'origine minérale, comme les métaux lourds, présents à des doses infimes dans le milieu naturel et de produits organiques (hydrocarbures, organochlorés, pesticides...) étrangers au milieu naturel. Ces produits sont susceptibles d'être présents en faible quantité dans les rejets, mais ont des effets toxiques et ont souvent la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants.

◆ la pollution thermique provenant du rejet, dans les eaux, d'eaux chaudes issues de certaines industries et notamment des centrales thermiques ;

◆ la pollution radioactive associée aux rejets d'effluents aqueux chargés en substances radioactives.

1.1.3. Les modes de contamination des eaux

Selon le mode de contamination des eaux par les polluants on distingue deux formes de pollution (Anafide, 2006):

- La pollution ponctuelle: elle est due à des rejets directs dans le milieu. Elle peut être aussi accidentelle (fuites des décharges, débordement de cuve). Les eaux de surface sont essentiellement la principale cible de ces polluants.
- La pollution diffuse se fait par écoulement de surface des eaux résiduelles vers les fleuves (eaux de surface) ou par infiltration/percolation d'eau polluée et diffusion des polluants dans

l'aquifère (nappe phréatique).

La susceptibilité de la nappe à la pollution dépend essentiellement de l'infiltration (texture des roches, perméabilité) et de la profondeur de la surface piézométrique. Une approche selon le modèle « origine-vecteur-cible » (« origin-pathway-target ») de Goldscheider (2005) (figure 1) est applicable dans le cas de la contamination des nappes et des puits

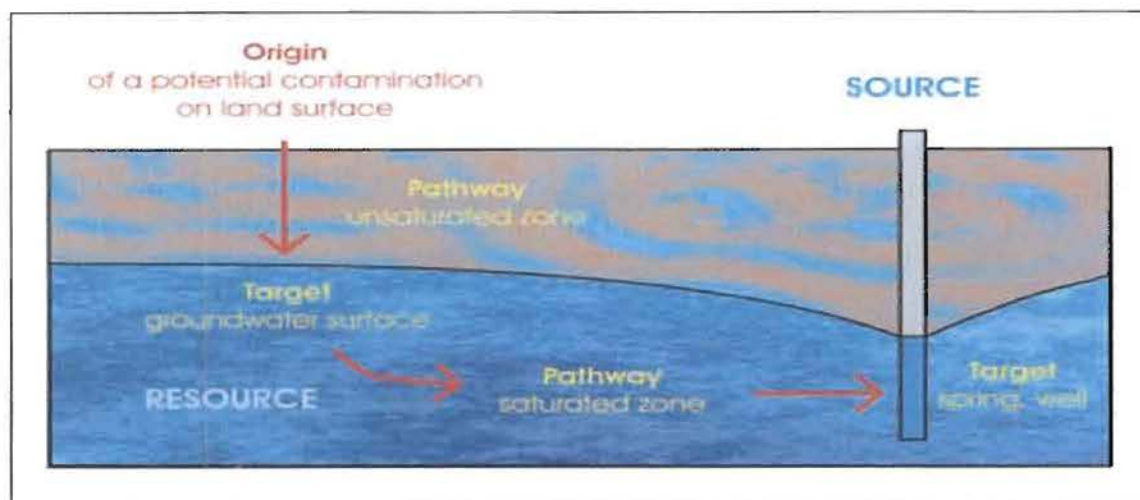


Figure 1 : Illustration du modèle de transfert des polluants d'après Goldscheider (2005)

1.1.4. Les conséquences liées à la pollution des eaux

L'altération de la qualité des eaux naturelles a une incidence sur la vie des organismes des systèmes aquatiques. La pollution des eaux peut modifier les conditions de vie naturelles de diverses manières (modification de la teneur en oxygène, de la température, et des éléments nutritifs de l'eau, effets toxiques directs) (BMZ, 1996 cité par Rodier, 1996). Lorsqu'ils sont rejetés dans une rivière, les polluants métalliques peuvent s'accumuler dans les sédiments, les plantes et les animaux aquatiques. Il existe alors un risque écotoxicologique pour l'homme. Les nitrates et les orthophosphates constituent deux éléments nutritifs majeurs des végétaux. Ils participent à la croissance des végétaux dans l'eau, étouffant les autres organismes vivants et provoquant le phénomène d'eutrophisation. Ils constituent donc un danger pour la faune et la flore lorsqu'ils sont présents en quantité trop importante (Pouilleute, 1996).

Par exemple, le Kou a été l'objet d'une pollution par les eaux usées de la zone industrielle de Bobo-Dioulasso. Cela a entraîné une grande mortalité des poissons ainsi qu'une forte dépréciation de l'état physiologique des végétaux aquatiques (Ouédraogo, 2003). De même, la Société Africaine des produits Phytosanitaires (SAPHYTO) avait été indexée pour le déversement des pesticides dans le marigot Houet et qui avait provoqué la mort des poissons

sacrés. Les effluents liquides des savonneries-huileries, chargés des matières organiques basiques étouffent les milieux qu'elles contaminent. Ainsi, la rupture de la digue de retenue de la lagune a provoqué la mort de nombreux poissons dont les silures sacrés (Ouédraogo, 2003).

Il est bien connu que les eaux d'égout non traitées sont un danger pour la santé publique et peuvent être à l'origine de maladies épidémiques. Selon la FAO (1996, cité par Anafide 2006), environ quatre (04) millions d'enfants meurent chaque année de la diarrhée causée par des infections d'origine hydrique. Le tableau 1 dresse un inventaire non exhaustif des origines et des maladies provoquées par les microorganismes présents dans les eaux usées. Par ailleurs, ces pollutions diminuent aussi considérablement la valeur récréative des eaux intérieures (Štirn, 1973; Shuval, 1986) et engendrent diverses nuisances tels que les odeurs désagréables. Ces odeurs indisposent et influent négativement la santé.

Sur le plan économique, la pollution des eaux engendrent des dépenses en matière de dépollution qui ne peuvent être supportées que par des pays riches.

Tableau 1 : Maladies provoquées par les eaux contaminées

Microorganismes	origines	Maladies
Shigelles	Eaux usées	Dysenterie bacillaire
Brucella	Eaux usées	Brucellose
Mycobacterium Tuberculosis	Eaux usées des hopitaux	Tuberculose
Hystolytica	Eaux usées agricoles	Dysenterie amibienne
Salmonelles	Eaux usées	Fièvre typhoïde
Vibrio Cholerae	Eaux usées	Choléra

Source : GAID (1984) cité par Ouédraogo (2003)

1.1.5. Les principales sources de contamination des eaux.

La complexité et la difficulté du problème de pollution résultent de la diversité des sources de rejets (Crine, 1993).

1.1.5.1- Les déchets urbains

Les déchets urbains comprennent les déchets de ménages, les déchets des activités économiques, les déchets de nettoyage, les déchets d'assainissement. Leurs caractéristiques

physico-chimiques (tableau 2) varient en fonction des sites, de la période et du type de déchet (Yé, 2007).

Tableau 2: Caractéristiques chimiques des déchets urbains de quelques décharges à Bobo-Dioulasso

	pH eau	C	M.O	N	P	Ca	Pb	Ni	Zn	C	C
		—— (%)			total	—— (mg/kg)			u r		
Ciné-Houet	8,50	4,6	8,0	0,3	1233	1626	34	30	34	86	3
		9	9	9		5	0		5		8
Marché	9,40	3,8	6,6	0,2	936	1397	10	30	27	22	1
Lafiabougou		5	3	9		0	0		9		3
Météba	9,15	3,3	5,7	0,2	988	1354	40	15	14	17	1
		2	2	6		5			5		4
Yeguéré	9,71	2,0	3,5	0,1	606	1101	30	20	13	12	1
		3	0	3		0			9		6
Marché Koa	9,43	1,1	1,9	0,0	346	4115	45	20	53	5	1
		1	0	7							3
Voirie Sarfalao	8,86	2,2	3,7	0,1	733	1063	55	25	16	23	1
		0	9	6		5			2		4

M.O: Matière Organique

Source: Yé (2007)

La gestion de ces déchets urbains qui incombe aux municipalités reste toujours problématique. Dans la plupart des centres urbains, les ordures ménagères (O.M) sont souvent stockées à même le sol devant les concessions pour y être incinérées ou parfois définitivement abandonnées. Ces déchets sont dispersés sous l'effet du vent et des eaux de ruissellement et peuvent se retrouver dans les caniveaux. Les matières organiques fortement présentes dans les ordures ménagères entraînent une augmentation de la charge polluante des eaux réceptrices (Ghrabi *et al.*, 2002)

1.1.5.2. Les déchets agricoles

Les eaux de surface sont beaucoup plus vulnérables à la pollution agricole que les eaux souterraines (Battle *et al.*, 2007). Le principal facteur de la pollution des eaux du bassin versant du Kou par les intrants agricoles est l'utilisation inadéquate d'engrais et de pesticides (Kam, 2007). Une étude initiée par le Programme GIRE (2001) sur l'évaluation de l'impact des intrants agricoles sur la qualité des eaux, a conclu que ces intrants avaient très peu d'impact sur les eaux.

1.1.5.3. Les déchets industriels

Ce sont des déchets produits par les entreprises industrielles, commerciales et artisanales plus ou moins chargés en substances minérales, organiques ou toxiques. Ils se composent (Farinet et Niang 2005):

- des déchets banals qui sont les papiers, les cartons, les plastiques, les verres et fermentescibles ;
- des déchets inertes constitués de déblais et gravats de démolition, des résidus minéraux d'extraction et de fabrication, de matériaux de constructions ;
- des déchets spéciaux qui sont des déchets industriels pouvant occasionner des nuisances. C'est ce dernier type de déchets qui fait l'objet de notre étude.

Leur élimination incombe aux entreprises elles mêmes. La plupart d'entre elles ne sont pas encore dotées d'installations de prétraitement de leurs eaux usées (ONEA, 2005). D'importantes quantités d'eaux usées de certaines industries sont rejetées dans la nature à travers des cours d'eaux naturels.

1.2- L'environnement industriel du Burkina Faso

1.2.1- Importance du secteur industriel

Le secteur industriel burkinabé est animé par de vieilles unités datant de la période coloniale. Outre ces entreprises de taille relativement importante, on assiste aujourd'hui à l'émergence de petites et moyennes entreprises et de petites et moyennes industries. Ces entreprises jouent un rôle important dans l'économie du pays. La grande industrie a contribué au PIB à hauteur de 15 % en 1993 alors que la contribution de la petite entreprise se situait à 25,7 %. Selon une estimation du Groupement Professionnel des Industriels (GPI), (2003), les industries participent au budget de l'Etat pour au moins 15 milliards. Elles offrent de l'emploi à une frange importante des couches vulnérables des villes. En 1985, le recensement national dénombrait 528000 personnes qui avaient un emploi permanent ou temporaire dans une PME (Ouédraogo, 2003).

Le tissu industriel au Burkina Faso s'est construit autour de deux grandes villes Ouagadougou et Bobo-Dioulasso, avec des extensions à Koudougou et Banfora. La zone industrielle à Bobo-Dioulasso, qui s'avère être la deuxième plus importante du pays (42% des unités industrielles) est très diversifiée : agro-industries, industries chimiques, industries métallurgiques.

1.2.2- Les principales unités industrielles de Bobo-Dioulasso et leur système de gestion des déchets

Il y a une vingtaine d'industries. Les principales unités industrielles sont :

i) Société nouvelle huilerie et savonnerie (SN-CITEC)

La SN-CITEC produit ~~de~~ l'huile alimentaire et du ~~du~~ savon. Les intrants sont entre autres les grains de coton ou d'arachide, la soude, les acides gras (palme, cobra, beurre de karité). Ce processus de transformation conduit à la production de déchets liquides et solides. Les eaux usées produites sont estimées à 6m³/h (LNAE, 2004).

Il existe un système de traitement par coagulation à l'aide d'une base forte (soude : 40 t/an ; les huiles sont cassées au moyen d'un acide fort : 120 tonnes/an) puis floculation au moyen d'un sulfate d'alumine (40 t/an) et d'un accélérateur (Presol : 100 kg/an).

Après traitement, les eaux usées sont déversées dans le canal Brakina et rejoignent le Bingbélé

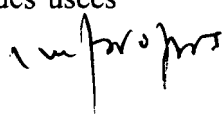
ii) Brasserie du Burkina (BRAKINA)/Bobo Dioulasso

Les principales productions de la BRAKINA sont la bière, les boissons gazeuses et l'eau minérale. Les principales matières premières et consommables utilisées à la BRAKINA susceptibles de polluer les eaux résiduaires sont : l'eau, les céréales (maïs), le sucre, le kieselgur, les détergents, les désinfectants, les emballages, le fuel, les graisses et huiles. Par le biais de ses activités, des déchets sont produits.

La BRAKINA s'est dotée d'un bassin de décantation avec des chicanes pour le traitement des eaux. Une partie des eaux usées est déversée directement dans le « canal BRAKINA » ;

iii) Société de Fabrication Industrielle du Burkina (SOFIB)

La SOFIB est une entreprise de production d'huile de coton, de beurre de karité et de savon. Elle a été créée en 1987 et comprend deux unités (huilerie et la savonnerie). On estime à 50 m³ la quantité d'eaux usées produites par la SOFIB.

Afin de réduire le débit de rejets journaliers de ses eaux usées, la SOFIB s'est dotée d'une cuve de rétention. Celle-ci devrait servir à stocker l'ensemble des eaux usées. Les eaux usées qui échappent au stockage s'acheminent vers le « canal BRAKINA ». Une partie des usées sont envoyées dans la lagune de la zone industrielle sans aucun traitement préalable. 

iv) Société Internationale de Transport par Rail (SITARAIL)

Société internationale de transport de chemin de fer, la SITARAIL par ses activités d'entretien et de réparation de son matériel ferroviaire produits des effluents liquides qui sont déversés dans le canal BRAKINA. Les rejets sont estimés à 7 m^3 contre une consommation de 17 m^3 . / an?

v) Société Nationale Burkinabè des Hydrocarbures (SONABHY)

La SONABHY produit en moyenne 17 m^3 d'eaux résiduelles chargées de carburants, dont les caractéristiques élémentaires restent mal connues (Ouédraogo, 2003).

Comme installation de traitement des rejets, on dénombre un bassin de décantation de 15 m^3 et des latrines.

vi) Abattoir Frigorifique de Bobo-Dioulasso (AFB)

Installation classée à l'instar des autres industries, l'abattoir frigorifique de Bobo Dioulasso répond depuis 1962 à sa mission d'abattage d'animaux de boucherie et de charcuterie de ces principaux partenaires.

Les eaux usées qui sont un mélange d'eau, de sang, de contenu des viscères des différentes espèces animales abattues, sont collectées dans un canal principal qui se jette directement dans le marigot Houet sans aucun traitement préalable (LNAE, 2007 ; Banhoré, 2007). Environ $15\,000 \text{ m}^3$ d'eaux usées sont produites par an (MECV, 2003).

vii) WINNER Industrie

WINNER est une société de fabrication de piles de types R6 et R20. Les matières premières utilisées sont le dioxyde de manganèse, le chlorure d'ammonium et l'oxyde de zinc. Ces matières sont essentiellement les polluants que l'on retrouve dans les eaux usées de la société (RESO 1999 cité par LNAE, 2004).

Ces eaux usées sont rejetées essentiellement dans les puits perdus qui sont souvent vidangés.

viii) Société Africaine de Produits Phytosanitaires et d'Insecticides (SAPHYTO)

La SAPHYTO est une unité qui produit des pesticides. Sa production annuelle s'élève à 1 500 000 litres de pesticides. Les eaux usées de l'unité proviennent en partie du nettoyage et du ruissellement d'eaux pluviales. Les organophosphorés et les pyrethroïdes en sont les principaux polluants (RESO, 1999 cité par LNAE, 2003).

Les eaux usées sont stockées dans trois bassins, filtrées à travers des couches de sable, puis soumise à un traitement naturel (bassin d'évaporation).

1.3. Cadre réglementaire sur la qualité de l'eau

1.3.1. Au niveau international

L'Organisation internationale de normalisation (International Standardization Organisation ou ISO), créée en 1946, est une fédération mondiale et non gouvernementale chargée de promouvoir l'élaboration et l'application de normes internationales. L'ISO travaille actuellement à mettre au point un ensemble de normes pour un système de gestion environnementale, regroupées sous l'appellation ISO 14000, axées sur la gestion des incidences environnementales.

Le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), créé en 1995 est une coalition de 122 entreprises internationales, issues de 34 pays, unies par un même engagement pour l'environnement et pour les principes de croissance économique et de développement durable. Le WBCSD s'est donné comme principal objectif d'encourager la mise en application de normes élevées de gestion de l'environnement au sein même des entreprises. Les rapports et les présentations de différents pays ont fait ressortir qu'il y a beaucoup de chevauchements, de duplication et de dysfonctionnement dans les interventions de différentes instances impliquées dans la gestion des ressources en eau, notamment sur les questions touchant la qualité de l'eau. Les lois et décrets généraux (Lois sur l'eau, codes de l'eau, code forestier, Loi sur la protection de l'environnement, etc.) existent, mais souvent les décrets d'application n'existent pas, ou ne sont pas appliqués quand ils existent. Il se pose également beaucoup de difficultés sur le plan de la coordination et même dans certains cas, de la cohérence dans les Lois, Codes et Décrets. Comme recommandé par le mandat, les représentants des pays participants sont formellement revenus à la recommandation d'imposer des normes de rejets aux différentes usines rejetant leurs effluents dans le fleuve ou ses affluents.

L'OMS dans ses recommandations ne fixe pas des normes strictes mais des valeurs guides permettant de porter un jugement comparatif sur la qualité de l'eau. Ces valeurs sont susceptibles d'être utilisées avec une certaine souplesse dans le souci constant de la protection de la santé publique.

1.3.2. Au niveau national

Plusieurs textes réglementent les niveaux de concentration de certains polluants dans les eaux de surface et les eaux souterraines. La plupart de ces textes établissent des listes de substances dangereuses devant faire l'objet d'un suivi et, dans certains cas, mesure de réduction. Il s'agit essentiellement de :

- ◆ la loi n°005/97/ADP du 30 janvier 1997, portant Code de l'Environnement au Burkina Faso. En effet, le code de l'environnement donne plusieurs définitions et des mesures d'atténuation d'impact sur l'environnement. En particulier, la définition de la pollution (article 5), les mesures sur les établissements dangereux, insalubres ou incommodes (article 25 à 30) et sur les déchets industriels et assimilés produits sur le territoire national (article 36 à 38).

- ◆ Décret n° 2001- 342/PRES/PM/MEE portant champ d'application, contenu et procédure de l'étude et de la notice d'impact sur l'environnement dans son article 5 fait une classification des activités susceptibles d'avoir des impacts significatifs directs ou indirects sur l'environnement ;

- ◆ Décret n°2001-185/PRES/PM/MEE portant fixation des normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol.

Globalement, l'eau doit obéir aux normes définies par la réglementation nationale. Si un des paramètres dépasse la concentration limite autorisée, il y a absence de conformité aux normes établies (Rodier 1996). Certains éléments toxiques du fait de leur présence, font proscrire l'emploi d'une eau. D'autres par contre, peuvent être à la rigueur tolérés s'ils ne dépassent pas une certaine limite. Si l'on est en présence d'un faible dépassement, limité dans le temps en l'absence d'une pollution accidentelle importante, le dépassement de la norme ne doit pas être systématiquement considéré comme introduisant un risque significatif pour la population (Rodier 1996).

L'examen des textes réglementaires fait apparaître que des causes diverses (accident de pollution, précision des écologistes ou des associations des consommateurs, souci de sécurité, résultats de recherches nouvelles etc.) ont conduit ces dernières années à une évolution des normes dans le sens de la sévérité.

1.4. Conclusion

La définition donnée à la pollution des eaux ainsi que les différents modes et sources potentielles de contamination ont éclairé sur la vulnérabilité de la ville de Bobo-Dioulasso

(zone riche en dépressions humides) aux phénomènes de pollution des eaux. L'industrie semble être une cause importante de ce problème environnemental. Les principales unités industrielles de la ville produisent en grande quantité des déchets de composition plus ou moins variable selon le type d'activité, souvent potentiellement très toxiques pour la faune, la flore et l'homme. Ces déchets sont souvent directement évacués dans la nature (marigot, caniveaux, terrains vagues) avec ou sans traitement. Malgré l'adoption d'une réglementation, la pollution industrielle des eaux persiste et des études détaillées du système s'imposent afin de situer les responsabilités et de trouver des mécanismes visant à minimiser le risque. Notre travail vise à évaluer l'impact des rejets de certaines unités industrielles réputées comme gros « pollueurs » sur la pollution des eaux des cours d'eau et de la nappe phréatique.

Chapitre II : Cadre d'étude, matériel et méthodes d'études

2.1-Zone d'étude

Dans cette étude, la zone de Bobo-Dioulasso est choisie comme zone d'investigation car elle est réputée comme étant l'un des pôles industriels les plus grands et les plus diversifiés du pays. Elle est aussi importante de par ses ressources en eau et de leur vulnérabilité aux phénomènes de pollution.

2.1.1-Situation géographique

La ville de Bobo-Dioulasso est située dans le sud-ouest du Burkina Faso à 365 Km de Ouagadougou. Elle est comprise entre les coordonnées géographiques de longitude 4°18' Ouest et de latitude 11°10' Nord.

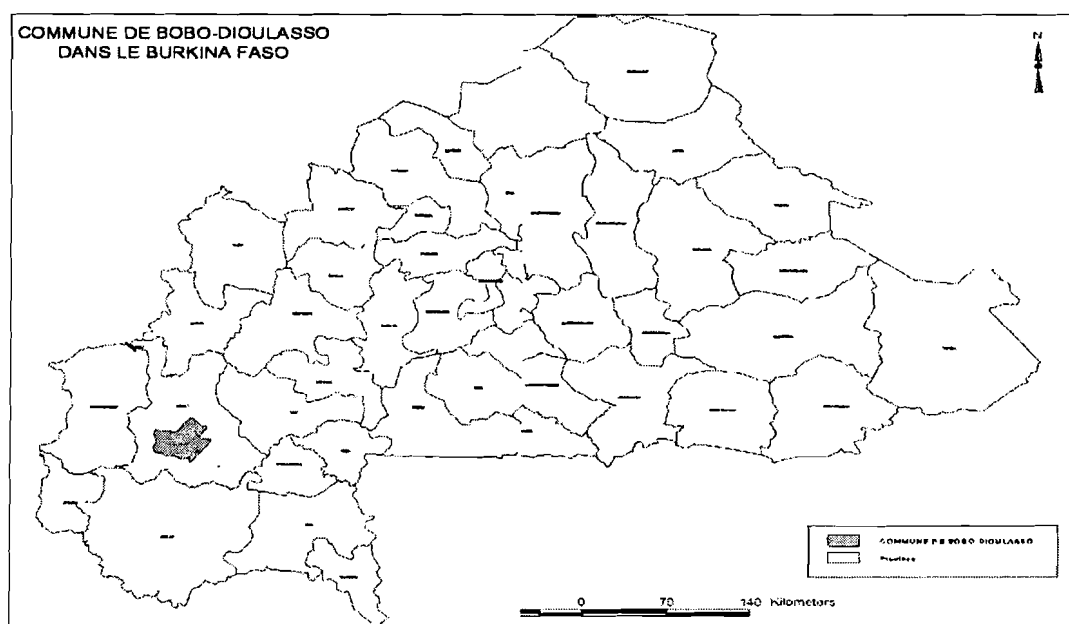


Figure 2 : Carte de situation géographique de la commune de Bobo-Dioulasso

2.1.2-Climat

2.1.2.1-Pluviosité

En général, les pluies commencent en avril ou en mai et s'arrêtent en octobre. L'essentiel des pluies tombe en général au mois de Juillet et d'Août. Pour la saison pluvieuse de 2008, le mois de septembre où s'est effectuée notre première campagne de prélèvement des échantillons d'eau, a été plus arrosé que le mois d'Août (figure 3). La première et la deuxième décade de septembre ont enregistré à peu près la même hauteur d'eau de 108 mm. Le mois de

septembre a été également caractérisé par de grosses averses. On a assisté aussi à une fin brutale des pluies au cours du mois d'octobre. La deuxième décennie d'octobre où s'est effectué notre seconde campagne de prélèvement a enregistré 16 mm de pluie.

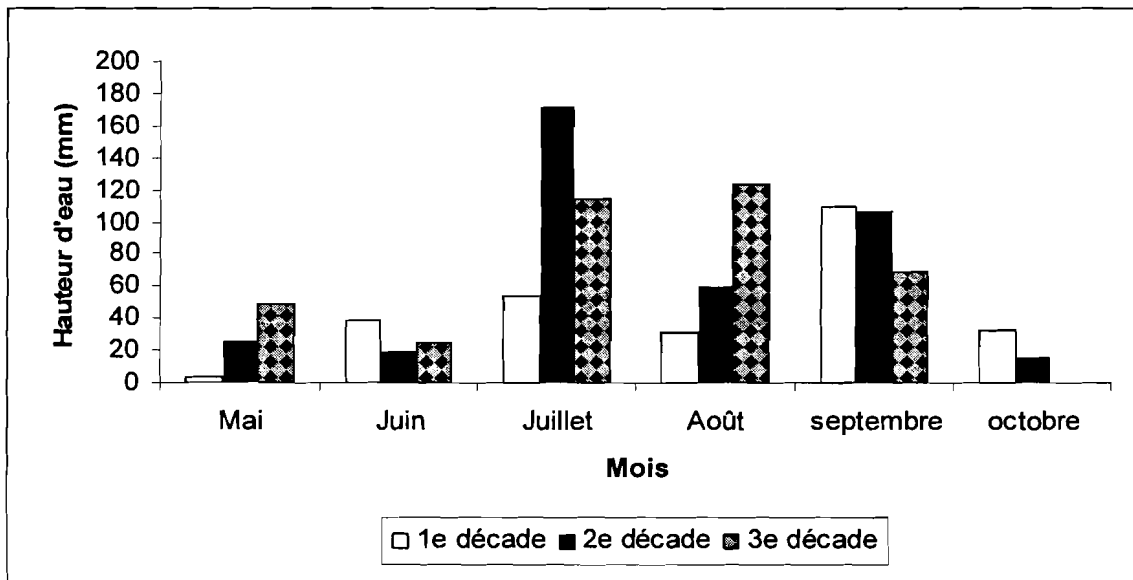


Figure 3 : Pluviosité décadaire de la ville de Bobo-Dioulasso, 2008

Source : Station météorologique de l'Aéroport de Bobo-Dioulasso, 2008

2.1.2.2-Températures

La température moyenne annuelle est de 28° C (Kam, 2007). Les températures moyennes varient selon les saisons. Pendant la période froide (octobre à février) elle est de 26° C. Pendant la période chaude (Mars à Mai), les températures augmentent, la température moyenne atteint 30° C. En hivernage, elle est de 27° C.

2.1.3. Hydrographie

Le réseau hydrographique de Bobo-Dioulasso est caractérisée par la présence de quatre principaux cours d'eau à régimes plus ou moins intermittents qui sont: le Bingbélé, le Kou, le Niamé, et le Houet. Ce sont les quatre principaux cours d'eau qui reçoivent les eaux pluviales et les eaux usées de la ville de Bobo-Dioulasso (ONEA, 1999). Cette situation pose un réel problème de pollution et de santé publique dans la ville auquel il faut trouver des solutions idoines et durables (PDC, 2007).

Le « Bingbélé » est en réalité un canal. Il draine les eaux usées des industries comme la Brasserie du Burkina (BRAKINA), la SOFIB huilerie, la SN-CITEC, la SITARAIL, etc. Une partie des eaux de ce canal est déversée dans le marigot Houet au moment des crues.

Le Kou est une rivière pérenne qui prend sa source à une trentaine de kilomètres au Sud-Ouest de Bobo-Dioulasso. Il est formé par la jonction de deux marigots (Kiéné et Farakoba) et se jette dans le Mouhoun à la pointe Nord. Il est principalement alimenté par les sources de la Guinguette (Nasso), du marigot Yengué en rive gauche des marigots Niamé et Wé (Houet) en rive droite. Le Kou draine les eaux du sud-ouest de la ville de Bobo-Dioulasso par le regroupement de deux vallées alimentées par de nombreux ruisseaux issus du nord de la zone industrielle (Banhero, 2007).

Le « Houet ». ~~X~~ prend sa source au niveau de la Guinguette et traverse la ville dans le sens Sud Nord en drainant sa partie septentrionale. C'est le principal collecteur de la ville et reçoit directement les rejets de l'Hôpital, de l'Abattoir et les débordements du canal Brakina au moment des crues (Banhero, 2007). Le Houet a un débit variant entre 55 et 76 l/s (DRAHRH, 2003). Il faut noter que ce marigot est sacré pour la population de Bobo-Dioulasso qui voue un véritable culte aux poissons qui s'y trouvent. *l'ethnie bobo.*

Le « Niamé » se situe à l'est de Bobo-Dioulasso. Il est formé par le regroupement de deux vallées. Il rejoint le Houet à 25 km au nord de Bobo.

Toutes ces rivières se jettent dans le fleuve Mouhoun, l'un des principaux cours d'eau du Burkina Faso

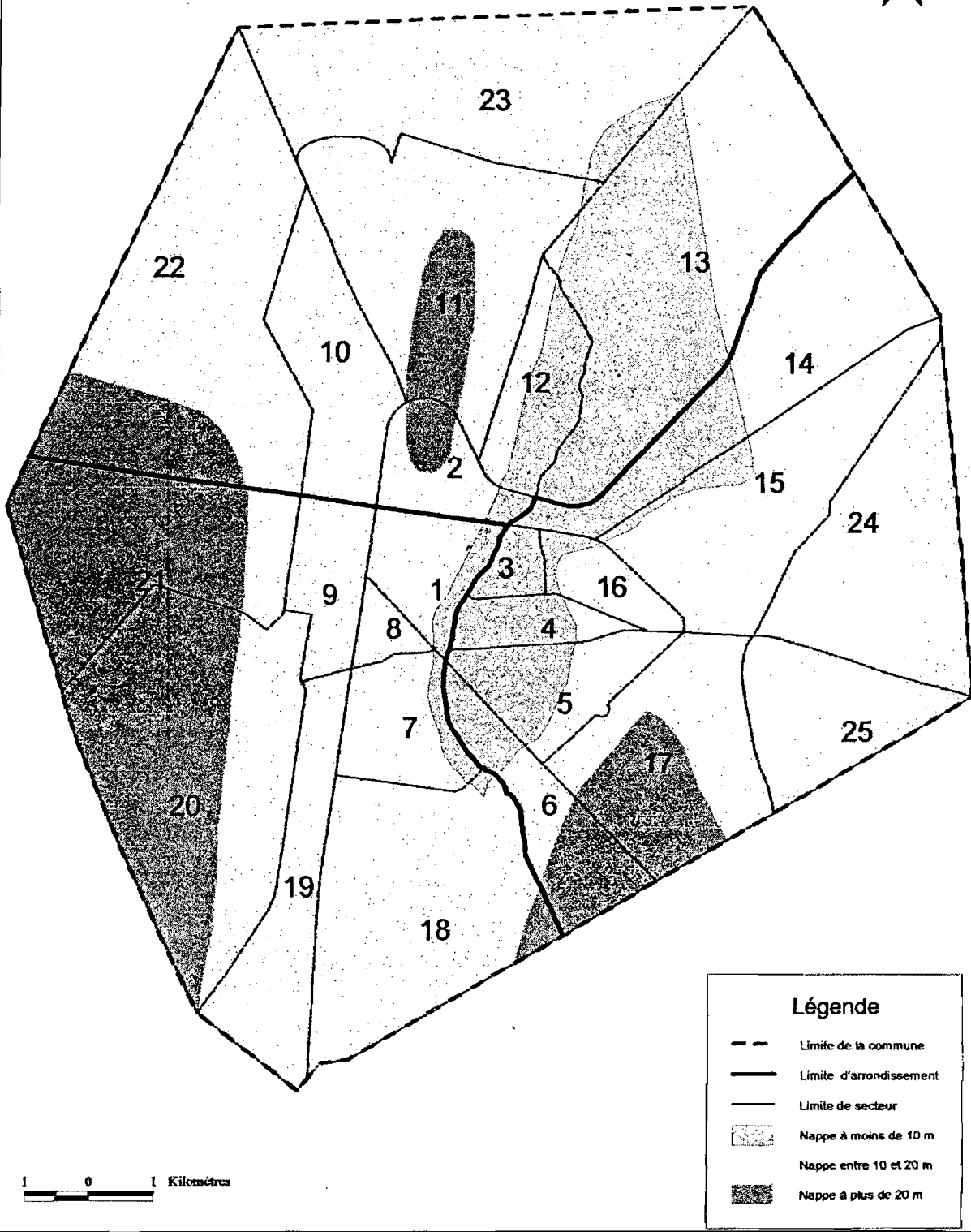
2.1.4. Hydrogéologie

Dans la ville de Bobo-Dioulasso, trois zones peuvent être identifiées sur la base de la profondeur de la nappe aquifère (figure 4) (ONEA, 1997) :

- La nappe aquifère à moins de 10m ;
- La nappe aquifère entre 10 et 20m ;
- La nappe aquifère à plus de 20m.

La grande partie des eaux souterraines se situe entre 10 et 20m et à une faible profondeur. Ces eaux sont localisées au centre de la ville où la pollution pourrait être la plus importante. Dans la vallée qui abrite le marigot Houet, la nappe aquifère est à moins de 10m. Cela peut accroître les risques de contamination des eaux souterraines par les eaux usées ou les substances présentes dans les eaux du marigot Houet (Banhero, 2007). Ces eaux souterraines sont exploitées pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Bobo-Dioulasso (source de l'ONEA) et sont la principale source d'eau de consommation des populations du bassin : eau de boisson, eau pour diverses besoins (ménagers, agriculture, élevage et industrie) (Lorenzini, 2007). Elles sont aussi source d'eaux minérales commercialisées par des sociétés (LAFI, JIRMA...).

PROFONDEUR DE LA NAPPE PHREATIQUE A BOBO-DIOULASSO



Source : ONEA (1997)

Figure 4 : Profondeur de la nappe phréatique à Bobo-Dioulasso

2.2. Matériel d'étude

Le Laboratoire National d'Analyse des Eaux (LNAE) équipé d'un appareillage assez complet et suffisant a été retenu pour les différentes analyses physico-chimiques des eaux.

2 points ??
Voire jugement
sur ne
pas!

2.3- Méthodes d'étude

2.3.1-Échantillonnage des eaux

2.3.1.1- Choix des unités industrielles

Le choix des unités industrielles a été guidé essentiellement par les informations disponibles sur les sources potentielles de pollution des eaux de la ville de Bobo-Dioulasso. En effet, ces unités industrielles sont indexées comme étant les plus gros pollueurs de la ville (Ouédraogo 2003 ; MECV, 2004; LNAE, 2007). Au total six (06) unités industrielles ont fait l'objet d'un suivi. Ce sont : l'abattoir, la BRAKINA, la SN CITEC, la SOFIB Huilerie, la SONABHY, la SITARAIL.

2.3.1.2- Repérage des points de prélèvement

En raison de la complexité, de la multiplicité et de la diversité des rejets, il est difficile de faire un choix judicieux des points de prélèvements. Toutefois, la reconnaissance du réseau de déversement des eaux usées a permis d'opter pour vingt (20) points de prélèvements importants à savoir :

- Six (06) points symbolisés par R1, R2, R3, R4, R5, R6 respectivement à la sortie des unités industrielles suivantes : abattoir, SN CITEC, SONABHY, SOFIB Huilerie, BRAKINA et SITARAIL ;
- Un (01) point sur le canal BRAKINA (CB) et 01 point sur le marigot Bingbelé (B) ;
- Deux (02) points sur l'affluent du Kou (AK1 et AK2) de l'amont vers l'aval ;
- Trois (03) points sur le marigot Houet (H1, H2 et H3) également de l'amont vers l'aval ;
- Un (01) point dans la lagune de la zone industrielle ;
- Six (06) puits symbolisés par P1, P2, P3, P4, P5 et P6 dans l'ordre du puits le plus proche vers le puits le plus éloigné de la zone industrielle.

Ces 20 points de prélèvements privilégiés sont matérialisés sur la figure 5.

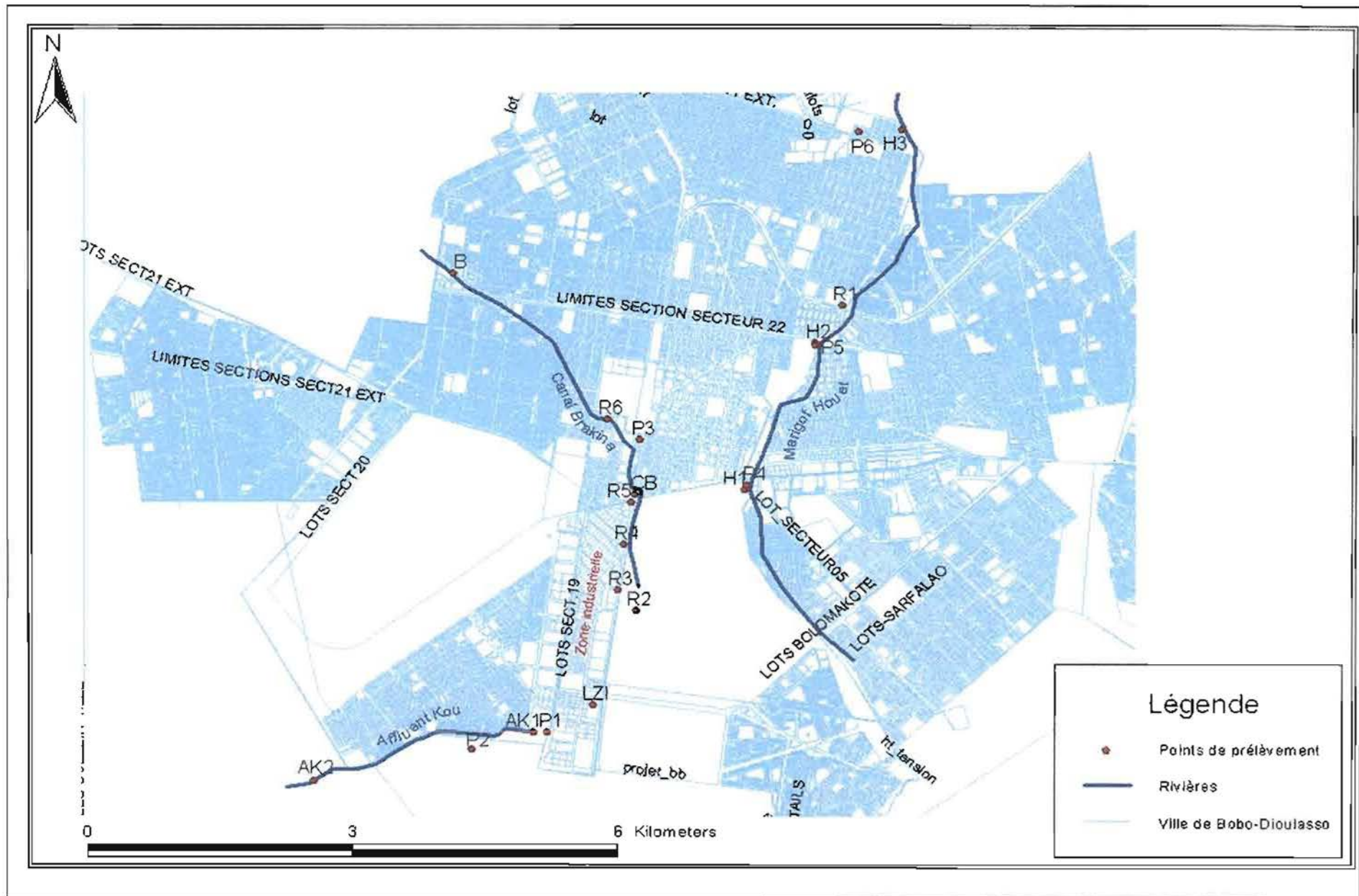


Figure 5 : Carte présentant les points de prélèvements.

2.3.1.3- Prélèvement des échantillons

La composition des eaux résiduaires et des eaux polluées est plus ou moins variable selon les journées, les mois et les saisons. Il a été difficile de pratiquer une technique de prélèvement satisfaisante et on a eu recours au prélèvement instantané présentant l'avantage de diminuer les risques de précipitation, d'absorption, de concentration ou d'évaporation (Nassali et al., 2002). Au total trois (03) campagnes de prélèvement ont été effectuées : le 15 septembre, le 15 octobre et le 17 novembre de l'année 2008.

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des bouteilles plastiques d'un (01) litre, préalablement lavées à l'eau distillée. Afin de contrôler et de confirmer la reproductibilité des mesures de ces paramètres, des échantillons supplémentaires ont été réalisées à chaque fois que cela s'est avéré nécessaire. Les échantillons ont été conservés en glacière réfrigérée pendant le transport jusqu'au laboratoire où les analyses ont été aussitôt effectuées. Au fil des analyses, les échantillons sont conservés au réfrigérateur pour éviter toute contamination et assurer une bonne conservation.

2.3.2- Paramètres analysés

Les paramètres qui ont fait l'objet d'un suivi ont été choisis non seulement pour leur lien avec les activités industrielles de la zone d'étude, mais aussi pour leur action potentielle sur le milieu aquatique récepteur. Le choix des substances à analyser s'est inspiré également de la liste burkinabé des normes de qualité des eaux du décret n°2001-185/PRES/PM/MEE portant fixation des normes de rejets de polluants dans l'air, l'eau et le sol.

2.3.2.1. Paramètres mesurés in situ

2.3.2.1.1. Le pH

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau (Rodier 1996). Les variations importantes du pH sont presque toujours la conséquence de rejets industriels (CREPA, 2007). Sa valeur est à prendre en considération lors de la majorité des opérations de traitement de l'eau (CREPA, 2007).

Le pH des échantillons d'eau a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre numéro 197i équipé d'une électrode combinée à un thermomètre. En fonction de la profondeur de la surface de l'eau, l'électrode a été introduite soit directement, soit dans un échantillon préalablement prélevé à l'aide d'une pissette. La valeur du pH de l'eau s'affiche directement sur l'écran de l'appareil avec une précision de $\pm 0,01$.

2.3.2.1.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique. Il existe donc une relation entre la conductivité d'une eau et sa minéralisation, d'où l'intérêt que présente la mesure de la conductivité.

La conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre numéro 197i avec une précision de $\pm 1\%$. Comme dans le cas du pH-mètre, l'électrode est introduite dans un échantillon d'eau et la valeur de la conductivité exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$ s'affiche directement sur l'écran de l'appareil.

2.3.2.1.3. La température

La température est un paramètre à prendre en compte dans l'évaluation de la qualité d'une eau (Rodier, 1996); car elle a un effet direct ou indirect sur la qualité de l'eau. Les modifications des températures des eaux réceptrices peuvent être influencées par les eaux chaudes de rinçage des appareils de production.

Les valeurs de la température des eaux ont été lues sur l'écran du conductimètre ou du pH-mètre qui sont munis chacun d'un thermomètre.

2.3.2.1.4. L'oxygène dissous

La détermination de l'oxygène dissous dans les eaux est d'une très haute importance en hydrobiologie (Dubois, 1958). En effet l'oxygène dissous est indispensable à toute forme de vie aquatique. La présence des matières organiques d'origine diverses telles que les eaux usées industrielles et domestiques réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation (Chatellier et Audic, 1999).

L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un oxymètre marque WTW. Sa valeur exprimée en $\text{mg O}_2/\text{l}$ s'affiche directement sur l'écran après avoir introduit dans l'échantillon d'eau l'électrode de l'appareil.

2.3.2.2. Les paramètres de pollution organique

La demande biologique d'oxygène (DBO), la demande chimique d'oxygène (DCO) et les solides en suspension sont les paramètres traditionnellement utilisés pour mesurer la pollution organique (Saad et al., 1994)

2.3.2.2.1. Les matières en suspension (MES)

La pollution d'une eau peut être associée à la présence de matières en suspension (Rodier 1996). Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées

par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales (CREPA, 2007). Les MES sont en général apportée lors du cheminement de l'eau (Rodier, 1996). Elles vont définir la turbidité qui mesure le degré de pollution physique du milieu. La turbidité joue un rôle très important dans les traitements d'eau (CREPA, 2007).

La détermination des MES a été faite par filtration et séchage à l'étuve à 105°C pendant 2 h de temps. La différence des masses du papier après et avant filtration donne les teneurs des MES par volume de solution (Rodier, 1996; AFNOR, 1999). On applique la formule suivante :

$$C_{MES} = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

C_{MES} est la concentration des MES en mg/l; M_0 , la masse de la membrane avant filtration ; M_1 la masse de la membrane après filtration et V le volume d'échantillon filtré.

2.3.2.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO correspond à la concentration des matières biodégradables (Memotec, 2006). Elle traduit le niveau de pollution organique d'une eau (Rodier et al., 1978). De façon pratique, la DBO correspond à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation par voie biologique (sous l'action des microorganismes/bactéries) des matières organiques présentes dans l'échantillon (Rodier, 1996). Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO₅ en mg/l d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20°C. La DBO₅ a été mesurée en utilisant un oxymètre.

Principe de la méthode

Une quantité d'eau est versée dans une bouteille d'incubation de 300 ml fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression (oxytop). Le volume choisi est fonction de la gamme de mesures souhaitée. L'ensemble est placé dans un réfrigérateur maintenu à 20°C. On suit ensuite, en fonction du temps, soit tous les jours pendant 5 jours pour la DBO₅, la consommation d'oxygène, qui se traduit par une diminution de la pression d'air. L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO₂ qui sera piégé par une solution de KOH. Ainsi il se développe une dépression dans la bouteille. L'adjonction de 1 allyle 2 thio-urée permet d'inhiber la nitrification car l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène (CREPA, 2007)

On procède enfin à la correction de la mesure par un facteur correctif qui dépend de la quantité d'échantillon prélevée et de la gamme de mesure souhaitée (tableau 3).

Tableau 3 : Facteur de conversion de la DBO5 en fonction du volume de prise

Portée de mesure	Quantité	Facteur
0 - 40	432	1
0 - 80	365	2
0 - 200	250	5
0 - 400	164	10
0 - 800	97	20
0 - 2000	435	50

Source : Manuel OXYTOP

La valeur réelle est calculée comme suit :

$$\text{DBO}_5 \text{ (mgO}_2\text{/l)} = \text{Valeur lue} * \text{facteur}$$

2.3.2.2.3. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO correspond à la concentration de l'ensemble des matières oxydables (Memotec, 2006). La pollution par les matières organiques est provoquée par les rejets industriels (industries chimiques, pétrolières, agro-alimentaires, ...) et les rejets des populations urbaines (CREPA, 2007). L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la DCO (Cebedeau, 2000). De façon pratique, elle correspond effectivement à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques présentes dans un échantillon donné. (APHA, 1995)

La teneur des eaux en DCO a été déterminée par spectrométrie. Mais avant de passer à la lecture au spectromètre, l'échantillon d'eau est chauffé dans le réacteur DCO deux heures avec un fort oxydant, le dichromate de potassium puis refroidi.

2.3.2.2.4. Evaluation de la biodégradabilité

Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné. On convient généralement des limites suivantes (Rodier, 1996 ; Menotec, 2006) :

- DCO/DBO₅ < 2 : l'effluent est facilement biodégradable;
- 2 < DCO/DBO₅ < 3 : l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées ;
- DCO/DBO₅ > 3 : l'effluent n'est pas biodégradable.

2.3.2.3. Les substances eutrophisantes

L'ammonium (NH_4^+), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-), les orthophosphates (PO_4^{3-}) sulfates (SO_4^{2-}) ont été choisis pour leur lien direct avec les industries agroalimentaires et l'abattoir qui produisent des déchets très riches en matières fermentescibles (Kaboré, 2004 ; Kiba, 2007). On s'est aperçu également que les éléments nutritifs représentés par l'azote (N) et le phosphore (P) jouent un rôle capital dans l'eutrophisation des eaux intérieures (Vollenweider, 1968). On les mesure sous leurs diverses formes organiques et inorganiques (par exemple NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4^3). L'évaluation de la charge en nutriments et des apports relatifs des différentes sources de nutriments aux eaux de surface est d'une importance cruciale pour la mise en application des mesures de contrôle de la pollution visant à prévenir ou renverser l'eutrophisation.

Ces paramètres ont été déterminés par la méthode spectrométrique.

2.3.2.4. Les métaux lourds

Les métaux lourds suivants : chrome, nickel, zinc, cuivre, aluminium, fer et manganèse ont été choisis pour leur lien avec les industries chimiques. La détermination des métaux lourds a été effectuée également par spectrométrie. ✓

L'action simultanée des métaux

Les métaux sont généralement présents dans les eaux en faibles concentrations (Rodier, 1996). Mais leur action peut avoir un caractère additif. L'importance de l'effet engendré par le mélange des éléments est numériquement égale à la somme des effets qu'ils provoqueraient isolement. Les recommandations pourraient alors imposer une limite à la présence simultanée des différents produits dont les concentrations devraient satisfaire à la relation (Rodier 1996) :

$$\sum \frac{C_i}{CL_{Ai}} \leq 1$$

Avec C_i la teneur du toxique dans l'eau contaminée et CL_{Ai} , la concentration limite autorisée de l'élément considéré.

Le tableau 4 résume les références des méthodes d'analyses et des réactifs utilisés pour la détermination des différents paramètres par spectrométrie.

Tableau 4 : Réactifs et références des méthodes à la spectrométrie.

Paramètres	Réactifs utilisés	Référence de la méthode
DCO	Dichromate de potassium + sels d'argent et mercure	HACH DR/2400 - 8000
Ammonium	cyanure d'ammonium + silicate d'ammonium	HACH DR/2400 - 8038
Nitrates	NitraVer5	HACH DR/2400 - 8171
Nitrites	NitrVer2	HACH DR/2400 - 8153
Orthophosphates	Molybdovanadate + Bromine water +solution Phenol	HACH DR/2400 - 8114
Sulfates	SulfaVer4	HACH DR/2400 - 8051
Fer	FerroVer Iron	HACH DR/2400 - 8008
Zinc	ZincoVer5	HACH DR/2400 - 8009
Nickel	EDTA + Phthalate - Phosphate + PAN Indicator	HACH DR/2400 - 8150
Cobalt	EDTA + Phthalate - Phosphate + PAN Indicator	HACH DR/2400 - 8078
Chrome	Chromium 1, 2, 3	HACH DR/2400 - 8024
Aluminium	Acide ascorbique + AluVer3 + Bleaching 3 Reagent	HACH DR/2400 - 8012
Manganèse	Buffer + Périodate	HACH DR/2400 - 8034

Source : Manuel spectromètre HACH DR/ 2400

Principe de la spectrométrie (figure 5)

La détermination des teneurs des paramètres par spectrométrie a été effectuée à l'aide du spectromètre HACH DR/2400. L'appareil fait passer un rayon d'une longueur d'onde choisie à travers une cuve contenant la solution à étudier. Les molécules de la solution absorbent plus ou moins le rayon lumineux et on définit alors l'absorbance pour cette longueur d'onde.

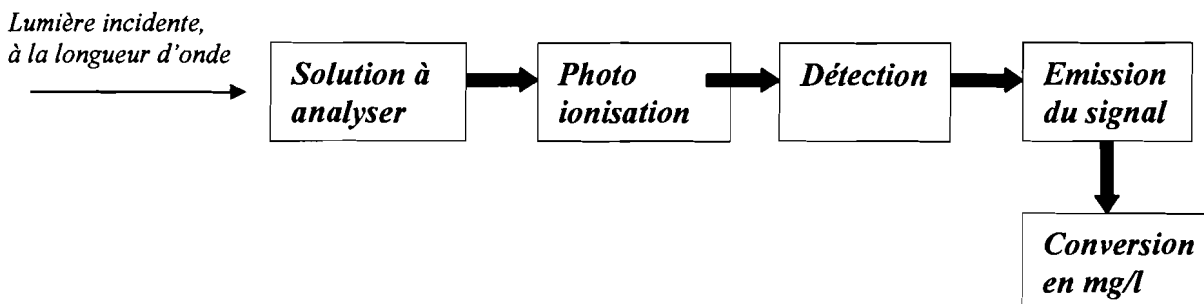


Figure 6 : Schéma résumant le principe du spectromètre HACH DR/2400

Mode opératoire du DR/2400

Les échantillons à analyser sont préparés (ajout du réactif) dans des tubes ainsi que le 'blanc' (constitué de l'échantillon sans réactif ou de l'eau distillée selon le cas). On choisit ensuite le numéro du programme du paramètre à analyser. Ce qui permet de choisir la source de lumière (longueur d'onde) qui est fonction du paramètre. Après avoir passé le tube à 'blanc' dans la cuve de l'appareil (on mémorise ainsi le spectre d'absorption de la lumière blanche comme ligne de référence), on place celui de l'échantillon puis on passe à la lecture.

L'appareil comporte une gamme de mesure pour chaque paramètre au delà de laquelle, la concentration du paramètre ne peut s'afficher. Au cas échéant, il faut alors procéder à une dilution de l'échantillon.

2.3.2.5. Les chlorures

La plupart des rejets issus des savonneries et des huileries sont riches en chlorures. Le dosage de la teneur des eaux en chlorures a été effectué par titrimétrie. Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromates de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent

La concentration des chlorures est :

$$Cl^- (\text{mg/l}) = V \times 10 \times 0,355 \quad V (\text{ml}) \text{ étant le volume de nitrate d'argent utilisé.}$$

2.3.2.6. La dureté totale

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) mesure la concentration totale des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} . C'est un indicateur d'usage de l'eau qui est influencé aussi par les rejets domestiques et industriels (Rodier, 1996).

La dureté totale des eaux a été déterminée par la méthode complexométrique (EDTA). Elle utilise une réaction entre le calcium ou le magnésium et une grosse molécule (appelé complexant) capable de fixer un de ces ions. Le complexant utilisé ici est le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique (EDTA) Cette méthode permet de distinguer le calcium du magnésium. En effet, la fin de la réaction est mise en évidence par l'utilisation d'indicateurs spécifiques, qui prennent une couleur différente selon que le calcium et/ou le magnésium sont libres ou complexés.

2.3.2.7. Alcalinité (TA/TAC)

La détermination de l'alcalinité de l'eau consiste à déterminer la concentration des bases HCO_3^- (hydrogénocarbonate), OH^- (hydroxyde) et CO_3^{2-} carbonate en solution dans l'eau. Pour la détermination de l'alcalinité, on définit deux paramètres qui se mesurent l'une après l'autre.

- ◆ TA : Titre Alcalimétrique qui mesure la concentration globale en OH^- et CO_3^{2-} (qui sont les deux bases les plus fortes dans l'eau). $TA = 0$ à $pH < 8,3$. On dose l'eau par une solution d'acide chlorhydrique (HCl de concentration 0.02 mol.L^{-1}). En premier lieu, ce sont les deux bases les plus fortes qui sont dosées (OH^- et CO_3^{2-}). On utilise pour cela un indicateur

coloré la phénolphtaléine qui donne à la solution la couleur rose pour $\text{pH} > 8,3$ et incolore pour $\text{pH} < 8,3$.

◆ TAC : Titre Alcalimétrique Complet qui mesure OH^- et CO_3^{2-} , HCO_3^- . A $\text{pH} < 4,3$, il détermine la teneur en hydrogénocarbonates. Une fois que la phénolphtaléine est devenue incolore, on utilise un autre indicateur coloré : le méthylorange ou le bromocrésol. A ce moment, il ne reste plus que HCO_3^- formés et de ce qu'il y avait initialement ; l'ensemble des HCO_3^- est alors dosé.

2.3.2.8. Analyse microbiologique des eaux

La méthodologie utilisée consiste à la recherche et au dénombrement des germes de contamination liée aux déchets : Coliformes fécaux, *Escherichia coli* pour les eaux des puits et streptocoques fécaux et Staphylocoques pour les eaux usées et les eaux des cours d'eau.

La technique utilisée est la filtration sur membrane (Bitton, 1984, OMS, 1986). Elle s'effectue en filtrant des aliquotes homogènes de 100 ml dilués dans de l'eau stérile de manière à obtenir un nombre formant colonie (UFC) compris entre 30 et 300 (Chipaux et al., 2002). Chaque aliquote a été filtrée sur une membrane dont le diamètre des pores était de 0,45 μm . Les membranes ont été ensuite placées sur des milieux de culture spécifiques (OMS, 1986). Les milieux de culture utilisés sont les suivants : Gélose de Chapman lactosée au TTC et Tergitol 7, Milieu Rapid Ecoli 2, Milieu de Slanetz et Bartley et Milieu de Baird-Parker qui permettent de dénombrer respectivement les coliformes fécaux, les germes d'*Escherichia coli*, les streptocoques et les staphylocoques. L'incubation a duré 24 à 44 °C pour les coliformes fécaux et les germes d'*Escherichia coli* et 24 h à 37 °C pour les streptocoques et les staphylocoques. Le comptage s'est fait après identification des différentes colonies (annexe photos).

2.3.3. Traitement des données

Les résultats des différents traitements ont fait l'objet d'analyses statistiques à l'aide du Logiciel GenStat. Le dispositif n'étant équilibré (tous les traitements ne se retrouvent pas dans chaque campagne de prélèvement d'échantillons), nous avons utilisé la méthode dite "Unbalanced analysis" pour mettre en exergue tout éventuel effet. Les moyennes ont été comparées par une analyse de variance (Anova) à l'aide du test de Student-Newman-Keuls.

Chapitre III: résultats et discussions

3.1-Caractérisation des rejets industriels

3.1.1-Résultats

3.1.1.1-Variation des paramètres mesurés in situ

Le tableau 5 synthétise les valeurs moyennes des paramètres mesurés *in situ* (pH, conductivité, température, oxygène dissous) dans des effluents industriels.

Tableau 5 : Valeurs moyennes des paramètres in situ

Paramètres	pH	Conductivité	Température	Oxygène dissous
Points de prélèvement		$\mu S/cm$	$^{\circ}C$	$mg O_2/L$
SN-CITEC	12,6 ^b	> 3999 ^b	32 ^a	1,3 ^a
SONABHY	8,2 ^a	156 ^a	34 ^a	2,6 ^a
SOFIB	7,5 ^a	437 ^a	30 ^a	1,6 ^a
BRAKINA	9,5 ^a	228 ^a	35 ^a	3,9 ^a
Abattoir	7,3 ^a	3107 ^b	32 ^a	0,3 ^a
SITARAIL	7,9 ^a	332 ^a	32 ^a	3,4 ^a
Norme 1	6,4 - 10,5	-	18 - 40	-
Norme 2	6,4 - 10,5	400	18 - 40	-

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Norme1 : normes burkinabè de déversement des eaux usées dans les égouts;

Norme2 : normes burkinabè de déversement des eaux usées dans les eaux de surface

De ces résultats, il ressort que les rejets industriels sont caractérisés par une faible alcalinité et celle-ci est très variable selon les unités industrielles ($F_{pr.} = 0,001$). Elles sont généralement comprises entre 7 et 10 et répondent bien aux normes burkinabè de rejet (Décret n° 2001-185/PRES/PM/MEE portant fixation des normes de rejets des polluants dans l'air, l'eau et le sol, Burkina-Faso, 2001) qui sont de 6,4 à 10,5 à l'exception de la SN-CITEC où l'on a mesuré un pH très basique de 12,6.

Pour la température, elle est comprise entre 30 et 35 °C. Ces valeurs répondent bien à la norme burkinabè de rejet industriel (18 à 40 °C). Toutefois, les températures mesurées dans les rejets de la SONABHY et de la BRAKINA (respectivement 34 et 35 °C) méritent une attention particulière, car la température de 35 °C est considérée comme valeur limite indicative pour les eaux usées destinées à l'irrigation des cultures (CNS, 1994 cité par Guamri et Belghyti, 2006).

Les rejets industriels présentent de faibles taux d'oxygène dissous. Ils varient entre 0,3 et 4 mg O₂/l et peuvent donc être rangées dans la classe de qualité moyenne selon les normes burkinabè (3-5 mg/l). Le rejet de la BRAKINA présente la teneur maximale en oxygène dissous (environ 4 mg/l) alors que la plus faible teneur (0,3 mg/l) a été mesurée à la sortie de l'Abattoir frigorifique.

Quant à la conductivité, les résultats indiquent qu'elle est également très variable selon les unités industrielles (F pr.<0,001). Elle est supérieure à la norme burkinabè (400 µS/cm) uniquement dans les rejets de la SOFIB, de l'abattoir et de la SN-CITEC. Concernant les deux derniers rejets, on note par ailleurs une conductivité très élevée et donc une forte minéralisation. Elle est de 3107 µS/cm dans le rejet de l'abattoir ; elle n'a pu être déterminée à la SN-CITEC car se situant au delà de la limite de détection de l'appareil.

3.1.1.2-Evaluation de la charge organique des rejets

Les teneurs moyennes des paramètres caractérisant la pollution organique des rejets industriels sont consignées dans le tableau 6.

Tableau 6 : Teneurs moyennes des paramètres de pollution organique

Paramètres	MES	DBO ₅	DCO
Points de prélèvement	mg/L	mg O ₂ /L	mg O ₂ /L
SN-CITEC	1442 ^a	730 ^{ab}	8843 ^b
SONABHY	130 ^a	40 ^a	199 ^a
SOFIB	42 ^a	23 ^a	65 ^a
BRAKINA	150 ^a	98 ^a	396 ^a
Abattoir	482 ^a	1600 ^b	4065 ^b
STARAIL	373 ^a	63 ^a	198 ^a
Norme 1	100	800	2000
Norme 2	200	50	150

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

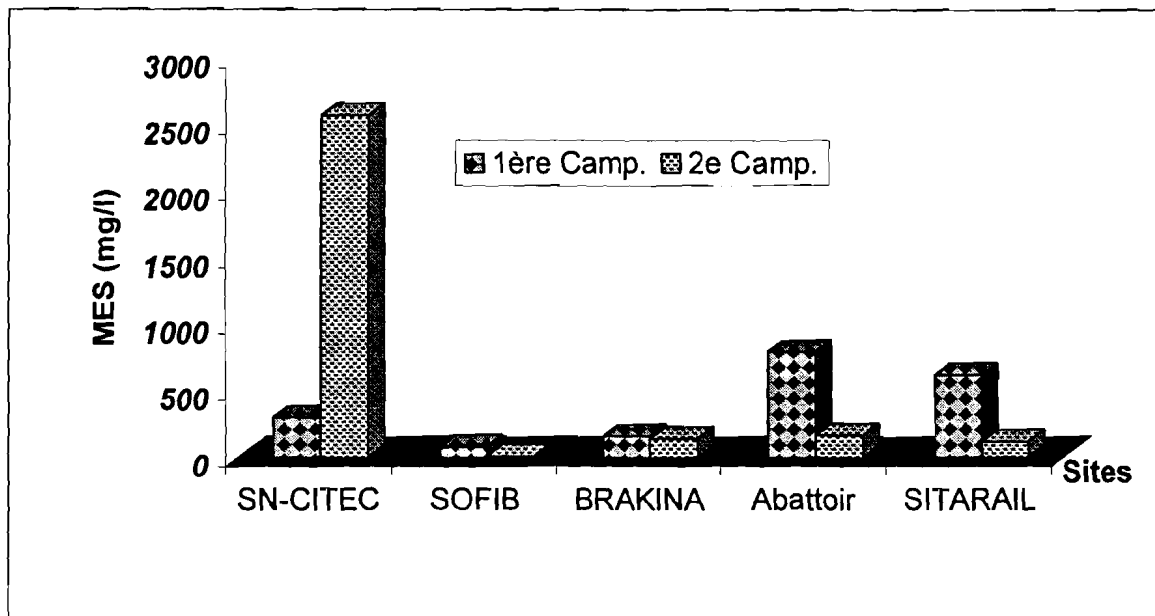
MES : Matières en suspension, DBO₅ : Demande biochimique en oxygène au bout de 5 jours,

DCO : Demande chimique en oxygène

Les concentrations en MES des rejets varient de 42 à 1442 mg/l. En tenant compte de la norme burkinabè de déversement des eaux usées dans les égouts (100 mg/l), les résultats indiquent une pollution des rejets de toutes les unités industrielles étudiées à l'exception de la SOFIB (42 mg/l) ; ces rejets devraient par conséquent subir un traitement.

Les rejets de la SN-CITEC sont plus concentrés en particules insolubles et décantables que les autres. Cette différence a été notée particulièrement pendant la deuxième campagne de prélèvement (plus de 2500 mg /l de MES à la SN-CITEC contre moins de 1000 mg/l au

niveau des autres unités industrielles) (figure 7). Mais sur l'ensemble des trois campagnes, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les teneurs en MES des différents rejets. La figure 7 montre également qu'à l'exception des rejets de la SN-CITEC, les teneurs en MES obtenues pendant la première campagne de prélèvement sont numériquement supérieures à celles obtenues pendant la deuxième campagne, mais cette différence n'est pas significative au seuil de 5 %.



1^{ère} campagne : 15/09/2008 ; 2^{ème} campagne : 15/10/2008

Figure 7 : Evolution des teneurs en MES dans les rejets industriels

La demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène (DBO₅) indiquent une pollution des rejets de la plupart des unités industrielles au regard des normes, à l'exception de la SOFIB pour les deux paramètres et de la SONABHY pour la DBO₅ uniquement. Les rejets de la SOFIB (65 mgO₂/l) correspondent à la plus faible DCO et donc, au rejet dont la concentration des substances organiques oxydables est la plus faible. La valeur de DCO la plus importante est de 8843 mgO₂/l pour le rejet de la SN-CITEC (tableau 6).

Concernant la DBO₅, les résultats varient globalement dans le même sens que ceux de la DCO. Les rejets de la SOFIB et de la SONABHY (respectivement 23 et 40 mgO₂/l) correspondent aux plus faibles DBO₅ et donc aux plus faibles concentrations en matières fermentescibles par voie biologique. La valeur maximale est de 1600 mgO₂/l pour le rejet de l'abattoir.

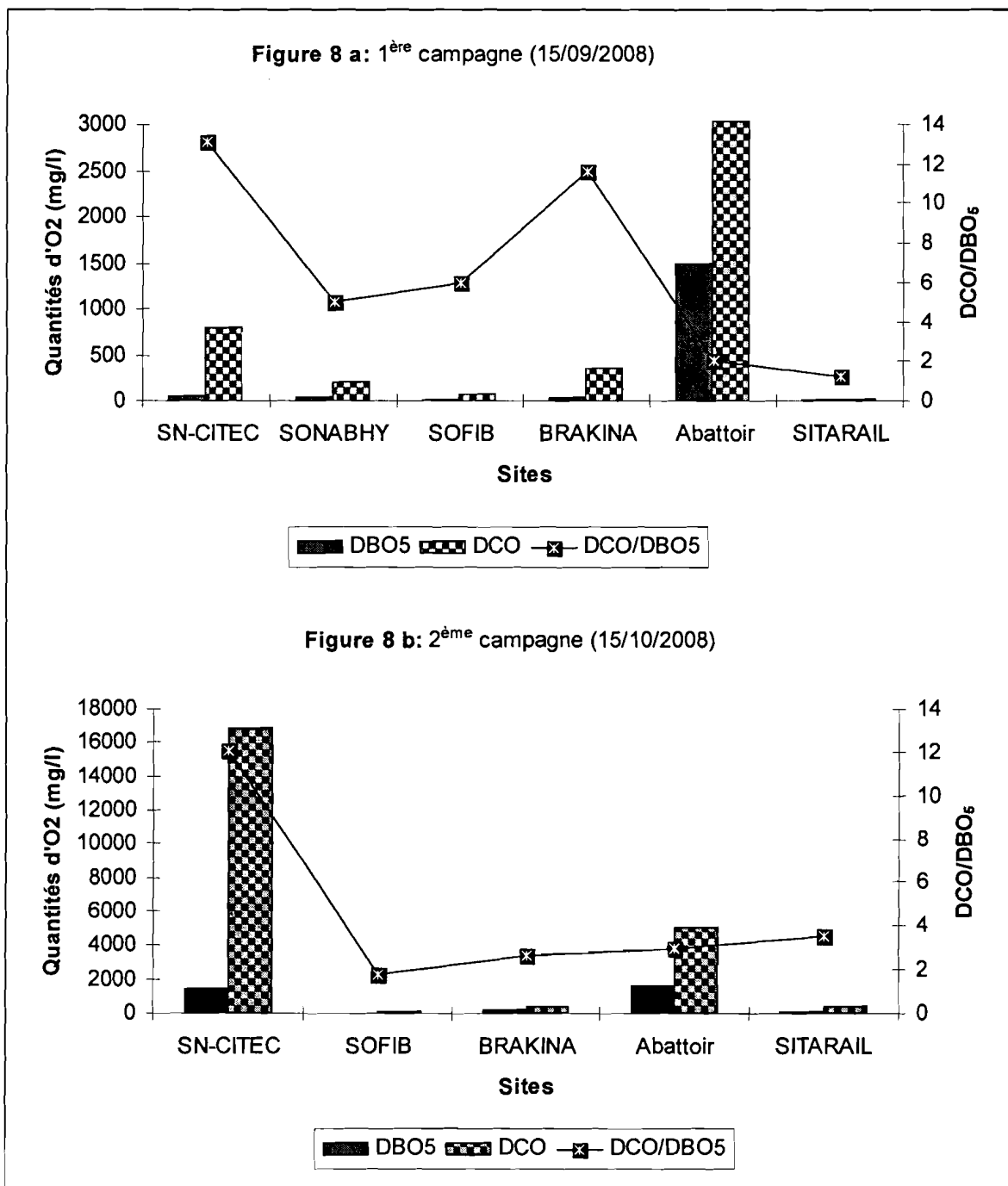


Figure 8 : Evolution des teneurs en DBO5 et en DCO dans les rejets industriels.

Contrairement aux MES, les teneurs en DCO et en DBO5 obtenues pendant la première campagne de prélèvement sont faibles comparativement à celles obtenues pendant la deuxième campagne au niveau de toutes les unités industrielles (figure 8), mais cette différence n'est pas significative au seuil de 5%.

Les rapports DCO/DBO5 donnent une appréciation différente de la biodégradabilité de la matière organique contenue dans les rejets industriels pendant les deux campagnes (figure 8).

Ainsi à la première campagne, des rapports supérieurs à trois ($DCO/DBO5 > 3$) ont été obtenus dans les rejets de la SN-CITC, de la SONABHY de la SOFIB et de la BRAKINA indiquant leur non biodégradabilité (Rodier, 1996 ; Menotec, 2006). Des rapports inférieurs à deux ($DCO/DBO5 < 2$) ont été obtenus dans les rejets de l'Abattoir et de la SITARAIL, montrant qu'ils sont facilement biodégradables. Par contre, les rapports DCO/DBO5 obtenus à la deuxième campagne de prélèvement montrent que les rejets de la SN-CITEC et de la SITARAIL sont difficilement biodégradables ($DCO/DBO5 > 3$), que ceux de la BRAKINA et de l'abattoir sont biodégradables ($2 < DCO/DBO5 < 3$) et que seul le rejet de la SOFIB est facilement biodégradable ($DCO/DBO5 < 2$).

3.1.1.3-Evaluation de l'eutrophisation des eaux.

Les substances chimiques responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques ont été dosées dans les rejets industriels. Leurs concentrations moyennes sont présentées dans le tableau 7.

Tableau 7 : Concentrations moyennes des substances eutrophisantes des les rejets

Paramètres	Azote ammoniacal	Nitrates	Nitrites	Ortho phosphates	Sulfates
Points de prélèvement	mg NH_3-N/L	mg NO_3-N/L	mg NO_2-N/L	mg PO_4^{-2}/L	mg SO_4^{-2}/L
SN-CITEC	16,00 ^b	9,60 ^a	1,24	7,64 ^a	5,00 ^a
SONABHY	0,38 ^{ab}	1,00 ^a	0,04	1,54 ^a	6,00 ^a
SOFIB	0,34 ^{ab}	2,45 ^a	0,04	5,65 ^a	17,50 ^a
BRAKINA	1,96 ^{ab}	1,75 ^a	0,01	2,64 ^a	278,50 ^a
Abattoir	188,00 ^c	3,10 ^a	< 0,002	7,50 ^a	1113,00 ^a
STARAIL	0,95 ^a	1,15 ^a	0,11	0,98 ^a	16,00 ^a
Norme 1	150,00	90,00	10,00		600,00
Norme 2	1,00	50,00	1,00	5,00	600,00

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

Ces résultats indiquent une pollution particulière de certains rejets en azote sous forme ammoniacale, en orthophosphates et en sulfates. Leurs teneurs varient selon l'unité industrielle ($F_{pr} < 0,001$; $F_{pr} = 0,008$ respectivement pour l'ammonium et pour les ortho phosphates) . En effet, les rejets de l'Abattoir et de la SN-CITEC sont les plus chargés en ammonium et en orthophosphates. Leurs teneurs se situent au delà des limites admises par la réglementation nationale (150 mg/l et 5 mg/L respectivement pour l'ammonium et les orthophosphates). On note également une contamination particulière du rejet d'abattoir en

Revoir les tests -

sulfates (1113 mg/l) dépassant largement la norme (600 mg/l). Les autres rejets ont des teneurs inférieures aux seuils.

La figure 9 présente l'évolution de substances chimiques responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques. Elle montre que contrairement à l'évolution des teneurs en ammonium des rejets, celles des orthophosphates sont beaucoup plus importantes en fin de saison hivernale qu'en saison hivernale, mais cette différence n'est pas significative au seuil de 5 %.

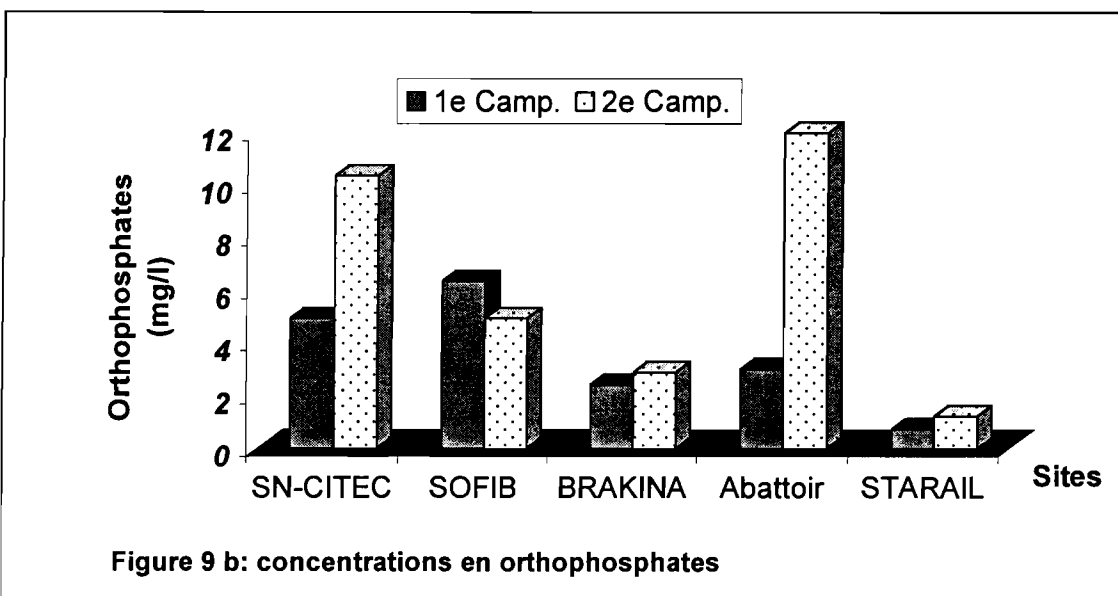
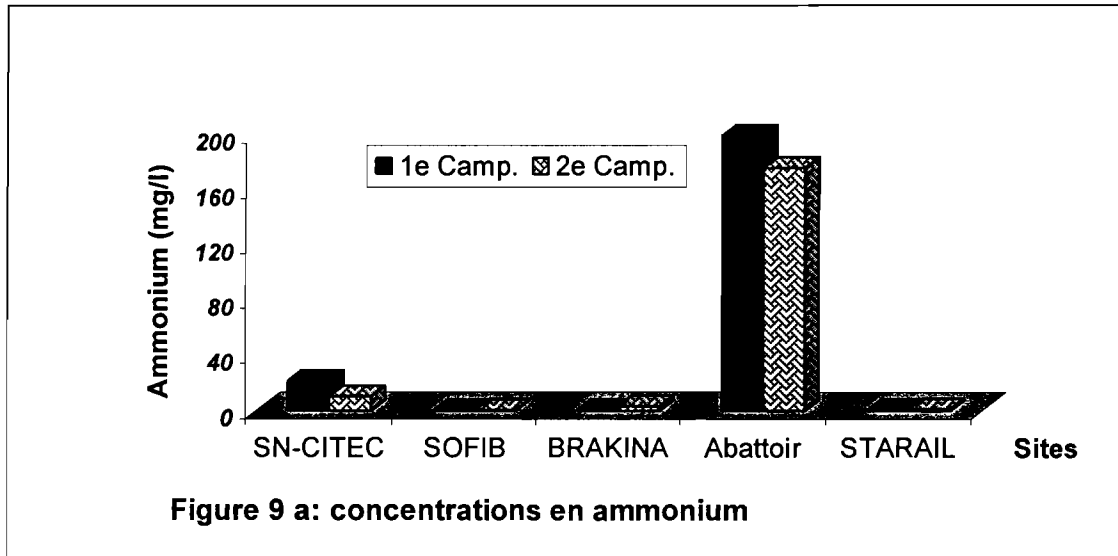


Figure 9 : Concentrations de l'ammonium et des orthophosphates dans les rejets pendant les deux campagnes.

3.1.1.4-Evaluation des éléments traces métalliques (ETM) dans les rejets

Le tableau 8 rapporte les concentrations de quelques métaux lourds dans les rejets étudiés. Toutes les concentrations sont inférieures aux valeurs suggérées par les normes burkinabè, à

l'exception du cobalt et du chrome dans le rejet d'abattoir. Toute fois, leurs concentrations ne s'écartent pas beaucoup des normes (0,54 contre 0,5 mg/l pour le cobalt et 0,28 contre 0,1 mg/l pour le chrome). A l'exception du Fer et du Zinc où les écarts entre les normes et les concentrations obtenues sont importants, tous les autres éléments traces métalliques dosés ont des teneurs qui se rapprochent des normes burkinabè. Les résultats indiquent par ailleurs que seules les teneurs en Fe et en Mn sont statistiquement influencés par le type d'industrie (F_{pr}=0,048 et 0,005 respectivement). En considérant l'ensemble des métaux lourds dosés, les résultats indiquent que les rejets de la SN-CITEC et de l'abattoir sont les plus chargés, ils sont suivis de ceux de la BRAKINA et de la SITARAIL. Les rejets de la SOFIB et de la SONABHY ont donné des teneurs négligeables en métaux lourds.

Tableau 8 : Concentrations moyennes de quelques métaux dans les rejets

Paramètres	Nickel	Cobalt	Chrome	Fer	Zinc	Manganèse
Points de prélèvement	mg Ni/L	mg Co/L	mg Cr/L	mg Fe /L	mg Zn/L	mg Mn/L
SN-CITEC	0,704 ^a	< 0,02 ^a	< 0,01 ^a	0,62 ^a	1,19 ^a	0,921 ^b
SONABHY	< 0,002 ^a	0,03 ^a	< 0,01 ^a	0,55 ^a	0,02 ^a	0,058 ^a
SOFIB	0,021 ^a	0,02 ^a	0,05 ^a	1,07 ^a	< 0,01 ^a	0,201 ^a
BRAKINA	0,412 ^a	0,29 ^a	0,1 ^a	0,7 ^a	0,14 ^a	0,1325 ^a
Abattoir	0,181 ^a	0,54 ^a	0,28 ^a	1,965 ^a	0,94 ^a	0,7715 ^b
SITARAIL	0,038 ^a	0,175 ^a	0,1 ^a	1,56 ^a	0,59 ^a	0,19 ^a
Norme 1	3	5	0,5	20	20	1
Norme 2	2	0,5	0,1	20	5	1,2

Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

3.1.1.5-Evaluation de la charge bactériologique des rejets

Le tableau 9 présente les concentrations des staphylocoques et des streptocoques dans les rejets industriels, deux germes permettant d'apprécier la qualité bactériologique des rejets.

Tableau 9 : Charge bactériologique des rejets industriels

Points de prélèvement	Staphylocoques (UFC/100mL)	Streptocoques (UFC/100mL)
SN-CITEC	25000	0
SOFIB	0	0
BRAKINA	Nappe	Nappe
Abattoir	3250000	4200000
STARAIL	0	0
Norme 1	-	1000
Norme 2	-	10000

Nappe : indénombrable

De ces résultats, il ressort que les deux germes recherchés (Staphylocoques et Streptocoques) sont présents dans les rejets de la BRAKINA et de l'Abattoir avec des concentrations importantes. Elles dépassent largement les normes burkinabè fixées à 1000 UFC/100ml pour les streptocoques. On observe également, que seuls les staphylocoques sont présents dans le rejet de la SN-CITEC avec une concentration estimée à 25000 UFC/100ml. Aucune des deux bactéries n'a pu être détectée dans les rejets de la SOFIB et de la SITARAIL.

3.1.2 Discussion

Les analyses physico-chimique et microbiologique faites sur les rejets des unités industrielles étudiées montrent de façon générale, une très forte variation des paramètres de pollution en fonction des unités industrielles. Cette variation a d'ailleurs été énoncée par plusieurs auteurs (Bilgo A., 1992 ; Ouédraogo, 2003 ; LNAE, 2004 ; LNAE, 2007). Plusieurs éléments peuvent expliquer ce fait : (1) les unités industrielles ont des pratiques et usages différents en fonction de leurs spécialités, (2) les pratiques et usages évoluent au cours du temps, (3) il s'agit d'accidents ponctuels.

La plupart des paramètres étudiés ont enregistré des teneurs largement inférieures à celles obtenues par LNAE (2005 ; 2007) avec des prélèvements effectués en saison sèche. Ces auteurs concluent que la plupart des rejets industriels ne répondaient pas aux normes nationales en vigueur. La baisse relative des teneurs enregistrées dans cette étude serait liée à la grande dilution de nos échantillons dont la première campagne de prélèvement a eu lieu en temps de pluie. Cette différence peut être attribuée aussi à une réduction de la charge polluante des rejets suite à l'adoption de nouvelles stratégies de gestion des eaux usées par certains établissements industriels. Cependant les résultats montrent un certain nombre de tendances globales. Par exemple, les paramètres physico-chimiques globaux (MES, DCO, DBO5) et les métaux lourds des rejets industriels révèlent une charge polluante supérieure aux effluents domestiques (ONEA, 1999, Saad et *al.*, 1994)

Concernant des paramètres plus spécifiques, les résultats montrent une forte charge organique des rejets d'abattoir et de la SN-CITEC. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ouédraogo (2003) ; LNAE, (2004 ; 2007). Des concentrations parfois supérieures aux valeurs obtenues dans cette étude ont été dosées (MECV, 2003, ZOUGOURI et *al.*, 2006). Selon (Ouédraogo, 2003), ce sont les contenues des viscères et le sang des différentes espèces animales abattues évacués sans traitement préalable qui contribueraient essentiellement à l'existence de fortes concentrations en DCO, en DBO₅ et en MES dans le rejet d'abattoir. Ces

matières constituent des substrats pour les microorganismes, d'où la forte présence des bactéries dans le rejet d'abattoir. Des résultats similaires ont été obtenus avec les rejets de l'abattoir municipal de Ngaoudéré au Camérout (Ngassoum *et al.*, 2000).

Quant au rejet de la SN-CITEC, on pourrait expliquer la forte charge organique par l'origine des matières premières utilisées (grains de coton, l'arachide, le beurre de karité) qui sont riches en substances organiques. Les eaux résiduairees provenant du processus de production, du nettoyage des fûts, sols et serviettes qui échappent au système de traitement des eaux usées mis en place par la SN-CITEC sont des sources importantes de déchets à forte charge organique. On pourrait penser que les rejets BRAKINA seraient les plus riches en matières organiques à cause de la nature des principaux intrants (céréales, sucre). Mais l'analyse a révélé de faibles teneurs en DCO, en DBO₅ et en MES qui sont attribuables au processus d'élimination par voie biologique dans le bac de décantation. Ce processus entraîne la diminution de la quantité des substrats et la multiplication des microorganismes (Meinck *et al.*, 1977). Ce qui pourrait justifier la forte charge bactérienne du rejet de la BRAKINA sortant du bac de décantation.

Le rapport DCO/DBO₅ a montré que le rejet de la SN-CITEC est très difficilement biodégradable. Cela pourrait s'expliquer par la nature des sous produits issus de la fabrication du savon et de l'huile, et qui inhiberait le métabolisme bactérien à cause de la présence excessive de détergents de nettoyage (sulfate d'alumine, presol) des appareils de production.

Le caractère très basique du rejet de la SN-CITEC serait lié au processus de fabrication du savon où la soude utilisée a un pH voisin de 13.

Avec une production d'eaux usées à la sortie de l'Abattoir estimée à environ 15000 m³/an (Ouédraogo 2003) et à 17 m³/h à la sortie de la SN-CITEC (ZOUGOURI *et al.*, 2006), la charge polluante de ces deux rejets sont très inquiétantes si on considère leur impact sur le milieu récepteur.

Quant aux élévations de températures enregistrées à la BRAKINA et à la SONABHY, elles seraient dues aux eaux chaudes de rinçage des appareils de production. Cependant, les températures des rejets des canaux d'évacuation à ciel ouvert subissent naturellement des variations journalières de température, conséquence de l'influence des vents, de la température de l'air et de l'insolation (Dubois, 1958).

La teneur en oxygène dissous reste très faible dans le rejet d'abattoir. Ce qui est normal pour ce rejet chargé en matière organique dont la dégradation par les microorganismes consomme de l'oxygène. Les valeurs de DCO et de DBO₅ relatives à ce rejet révèlent sa forte charge organique surtout dans la période précipitée (Octobre). Le rejet de la BRAKINA présente la

teneur maximale en oxygène dissous (environ 4 mg/l). La faible teneur en matière organique et la forte température qui caractérisent ce rejet expliqueraient sa richesse en oxygène dissous. Les teneurs des paramètres responsables de l'eutrophisation des eaux obtenues dans les rejets industriels sont admissibles dans la majorité des cas au regard des normes établies. Toutefois, du fait de leur évolution rapide au cours du temps (notamment les matières azotées) ces paramètres peuvent se révéler dangereux dans les milieux récepteurs. Le rejet d'abattoir peut être considéré déjà comme substance dangereuse vis-à-vis de l'environnement du fait de sa forte charge en sulfates et en ammonium. Nos résultats sont en accord avec ceux de LNAE (2007) qui a également montré la forte charge du rejet d'abattoir en ammonium (275 mg/l) et en orthophosphates (193 mg/l). Ces substances proviendraient probablement de la décomposition des fèces d'animaux abattus.

Les concentrations en métaux lourds obtenues sont du même ordre de grandeur dans les effluents domestiques sauf pour le fer, le zinc et le manganèse qui sont en concentrations légèrement plus importantes dans les rejets industriels. Les faibles teneurs des différents métaux recherchés (nickel, cobalt, chrome, fer, zinc manganèse) s'expliqueraient par le fait que ces métaux sont très peu ou pas du tout employés dans les unités industrielles étudiées. Certains minéraux peuvent également se combiner à d'autres éléments pour donner des formes insolubles (Hakkou et *al.*, 2006). Ces formes insolubles n'ont pu être dosées par la méthode d'analyse. Ce qui pourrait également justifier les faibles teneurs des métaux dans les rejets industriels.

La date de prélèvement n'a pas d'effet significatif sur les teneurs des éléments (F pr.toujours supérieur à 0,05). Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'intervalle de temps entre les dates de prélèvement (1 mois) trop long, ne permet pas de faire un suivi rapproché des rejets industriels. En effet, la composition quotidienne des eaux usées dépend de la mise en activité ou non des unités industrielles. Des résultats similaires ont été obtenus dans la ville de Settat (Maroc) (Kao et *al.*, 2007). Cependant, entre les deux dates de prélèvement (le 15 septembre et le 15 octobre) les teneurs de la plupart des paramètres ont connu une légère hausse (la différence n'est pas significative au seuil de 5%). Les faibles teneurs obtenues le 15 septembre sont dues probablement à une dilution des substances par les eaux des pluies. En effet on a noté des grosses pluies à deux jours avant la première campagne de prélèvement. Cependant elles ont contribué au colmatage et au transport de certains éléments (MES, matières azotées) au sein des établissements.

3.1.3. Conclusion

Selon les normes burkinabè, les rejets de tous les établissements industriels étudiés sont dangereux vis-à-vis de l'environnement. Le rejet de la SOFIB est celui qui correspond aux teneurs les plus faibles pour les MES, les DCO, DBO5, l'ammonium et les métaux lourds tels que le fer, le nickel, le zinc, le manganèse. Ensuite vient le rejet de la SONABHY. On retrouve les teneurs les plus importantes dans les rejets de l'Abattoir et de la SN-CITEC. Quelques polluants ne s'inscrivent toutefois pas dans ce classement ; les concentrations en sulfates, en chrome et en cobalt sont les plus faibles dans le rejet de la SN-CITEC et plus élevés dans le rejet d'abattoir. En considérant l'ensemble de la charge polluante on peut regrouper les rejets de la SN-CITEC et de l'Abattoir comme étant les plus pollués, les rejets de la SONABHY et de la SOFIB comme étant les moins pollués, et les rejets de la SITRAIL et de la BRAKINA comme transitoires mais plus proche du groupe « plus pollué ». Ces rejets ont certainement un impact sur les milieux aquatiques récepteurs.

3.2-Influence des rejets industriels sur la pollution des eaux

3.2.1. Résultats

3.2.1.1. Analyse des eaux des puits

Les résultats de l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de quelques puits sont consignés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Concentrations des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des puits étudiés

Puits	P1	P2	P3	P4	P5	P6	Valeurs guides (OMS)
pH	8,1	7,8	7,6	7,7	8,2	7,9	6,5 - 8,5
Conductivité (μ S/cm)	188	128	284	122	25	38	2000
Température (°C)	30,9	28,3	28,5	27,9	29,5	30,7	
Turbidité (NTU)	3	2	2	2	3	7	5
Ammonium (mg NH_4^+ /L)	0,04	0,03	<0,02	0,03	<0,02	0,10	150
Nitrates (mg NO_3^- /L)	53	48	36	24	6	8	50
Nitrites (mg NO_2^- /L)	0,020	<0,002	0,06	<0,002	0,007	0,011	3000
Ortho phosphates (mg P_2O_5 /L)	0,26	0,14	1,48	0,2	0,1	0,1	5
Sulfates (mg SO_4^{2-} /L)	2	<2	9	<2	<2	<2	250
Fer total (mg Fe/L)	0,13	0,10	0,20	0,07	<0,02	0,13	0,3000
Magnésium (mg Mg/L)	1	3	2	1	1	1	50
Manganèse (mg Mn/L)	0,020	0,151	0,170	0,024	<0,002	<0,002	0,500
Bicarbonates (mg HCO_3^- /L)	8	4	38	6	7	12	
Calcium (mg Ca/L)	2	6	13	6	1	4	100
Chlorures (mg Cl^- /L)	27	18	57	30	20	15	250
Dureté totale (mg CaCO_3 /L)	10	26	39	18	5	12	60
Titre Alcalimétrique (mg CaCO_3 /L)	0	0	0	5	0	0	
Titre Alcalimétrique Complet (mg CaCO_3 /L)	6	3	27	2	6	10	
Coliformes fécaux (UFC/100mL)	>100	>100	0	>100	>100	>100	0
Escherichia coli (UFC/100mL)	90	0	0	19	17	86	0

Ces résultats montrent que les eaux des puits sont dans l'ensemble, d'une bonne qualité pour la majorité des paramètres, au regard des normes pour l'eau de boisson (Ativon, 1988 ; OMS, 1994).

L'analyse bactériologique montre que seul le puit P3 (puits du quartier "Petit Paris") est exempt de coliformes fécaux et d'Escherichia coli. Il répond ainsi aux normes de potabilité selon l'OMS (1994) qui stipule que l'eau destinée à la consommation ne doit contenir aucun germe pathogène. Tous les autres puits étudiés ont enregistré des concentrations en coliformes fécaux très importantes, se situant au delà de la limite admise par la méthode d'analyse (100 UFC/100mL). Les puits de Koeni (P1) et de Sakabi (P6) ont enregistré en outre, des concentrations également importantes en E. coli (respectivement 90 et 86 UFC/100mL).

Quant à l'évolution des teneurs en fonction de la distance séparant les puits de la zone industrielle, les résultats n'indiquent pas de tendance nette pour la majorité des paramètres. Seuls les teneurs en nitrates et la conductivité électrique semblent baisser globalement quand on s'éloigne de la zone industrielle (Figure 10). En effet, si les teneurs en nitrates restent en

dessous du seuil de potabilité (50 mg/L) pour la majorité des puits, une forte concentration est tout de même enregistrée niveau du puit P1 (53 mg/L). Elle baisse ensuite progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone industrielle pour atteindre des valeurs minimales (6,4 mg/l au puit P5 et 8,4 mg/l au puit P6). La conductivité électrique tend à suivre le même rythme mais a connu une augmentation brutale au puit P3 (puit zone résidentielle du 21) avec 284 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La figure 10 montre également qu'il existe une relation positive entre la conductivité et les nitrates.

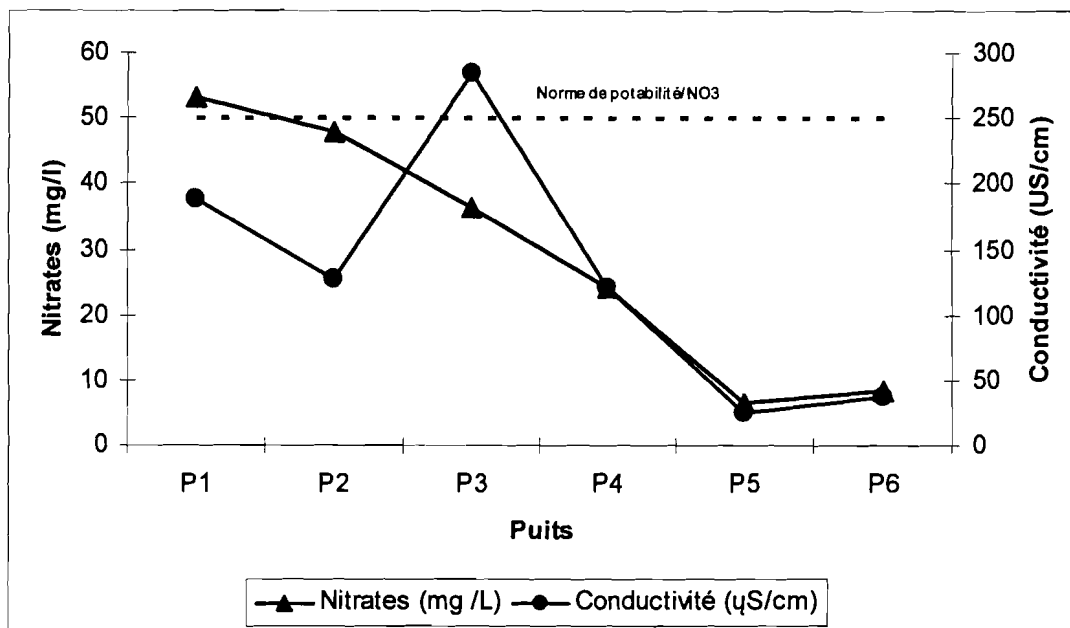


Figure 10 : Evolution spatiale de la conductivité et des nitrates dans les eaux des puits.

3.2.1.2. Variation de la qualité des eaux du marigot Houet

La figure 11 présente l'évolution des teneurs en matières en suspension (MES), en demande chimique en oxygène (DCO) et en demande biochimique en oxygène (DBO₅) le long du marigot Houet.

On constate que de l'amont vers l'aval du Houet, l'évolution des teneurs est sensiblement identique pour les trois paramètres. Les teneurs sont faibles au point H1 le plus proche de la zone industrielle (H1), augmentent significativement au niveau du centre ville (point H2) puis baissent à la sortie de la ville, en aval du rejet d'abattoir (point H3). Suivant l'ordre des trois points échantillonnés, les teneurs sont de l'ordre de 176, 310 et 100 mg/L pour les MES (Figure 11 a), de 74, 234 et 28 mg O₂/L pour la DCO (Figure 11 b) et de 12, 30 et 22 mg O₂/L pour la DBO₅ (Figure 11 c) à la première campagne, mais à la deuxième campagne, on constate que les teneurs sont non seulement très faibles mais aussi varient très peu de l'amont

Quelle est la distance entre le canal pollué et les puits de prélèvements. ??

vers l'aval du Houet. Elles ne dépassent pas 8, 20 et 16 mg/L respectivement en MES, en DCO et en DBO₅.

La figure 12 montre que les taux obtenus pour l'oxygène dissous diminuent significativement au point médian (H2). La conductivité électrique et le pH ne varient pas significativement le long du Houet. Cependant, la conductivité la plus élevée (400 µS/cm) a été obtenue point H2 avec. Le pH, neutre au point H1 (7,1) baisse légèrement pour atteindre 6,5 au point H3.

Quant aux substances eutrophisantes, elles sont en très faibles concentrations et n'indiquent pas de tendances nettes de l'amont vers l'aval du Houet (Figure 13 a). Toutefois, on peut relever les teneurs assez élevées des sulfates (10, 12 et 13 mg/l respectivement aux points H1, H2 et H3) et de l'ammonium (2,37 au point H2). L'analyse chimique a révélé également la présence en concentrations très faibles des métaux lourds. L'évolution de leurs teneurs de l'amont vers l'aval du Houet (Figure 13 b) montre globalement un 'creux' au point H2 ; le point H1 (le plus proche des unités industrielles) étant le plus chargé en métaux lourds. Les teneurs enregistrées au point H1 sont de 0,74 ; 0,06 ; 0,43 ; 0,125 et 0,05 mg/l respectivement en cobalt, en chrome, en fer, en zinc et en manganèse.

L'analyse microbiologique a révélé la présence simultanée des deux germes de contamination fécale (Staphylocoques, Streptocoques) uniquement au point H2. En plus, le point H2 a enregistré la plus forte concentration en Staphylocoques (4000000 UFC/100ml) alors que les concentrations aux points H1 et H3 sont seulement de l'ordre de 75000 et 50000 UFC/100ml respectivement.

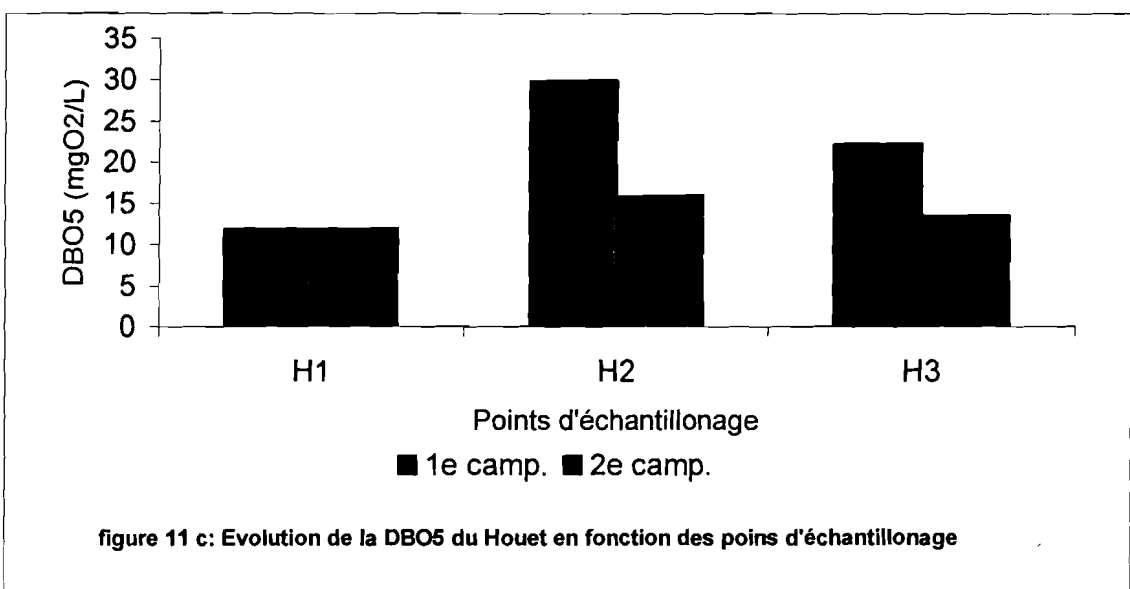
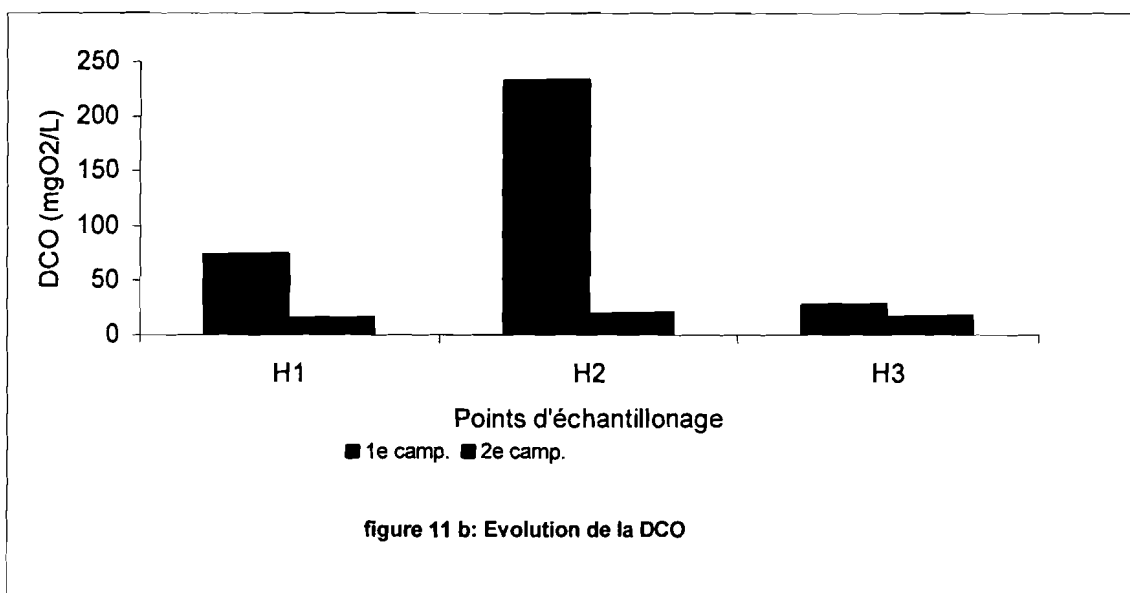
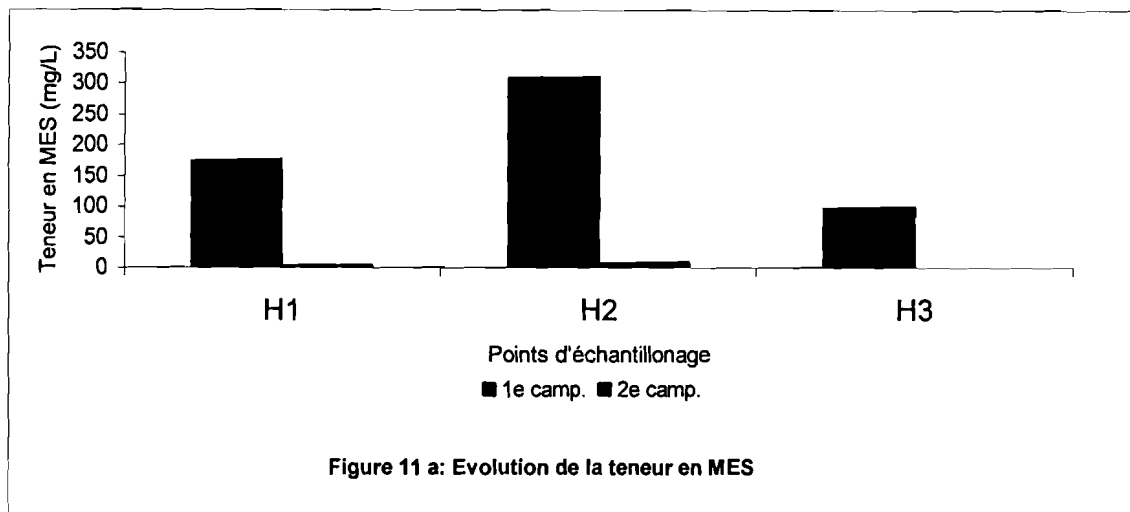


Figure 11 : Evolution spatio-temporelle de la pollution organique du Houet en fonction des points.

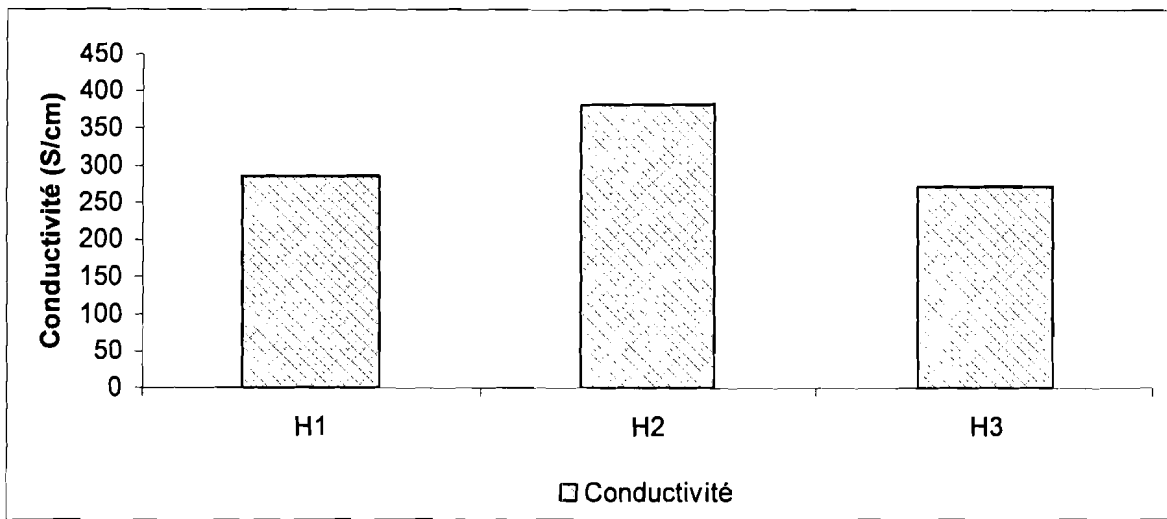


Figure 12 : Evolution de la conductivité électrique moyenne dans le Houet en fonction des points

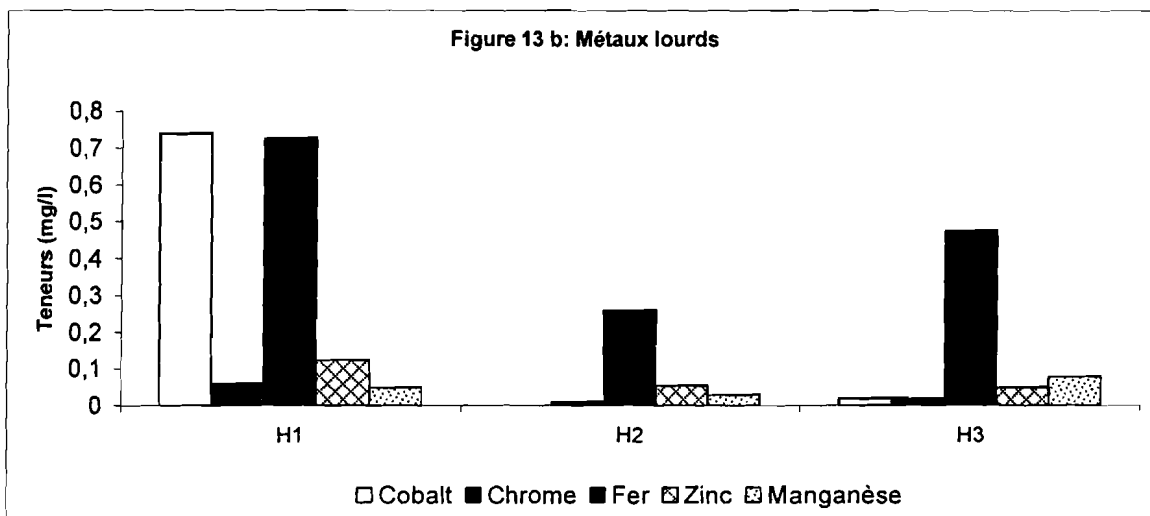
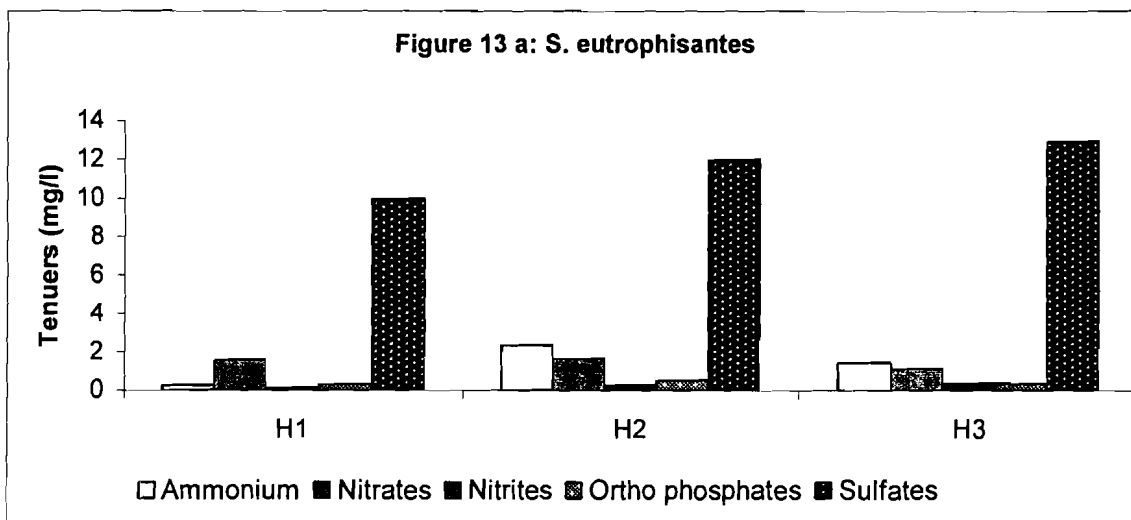


Figure 13 : Evolution des teneurs en substances eutrophisantes et en métaux lourds dans le marigot Houet en fonction des points.

3.2.1.3. Variation de la qualité des eaux du canal BRAKINA et du marigot Bingbélé

La Figure 14 présente la variation spatio-temporelle des teneurs des éléments considérés comme majeurs et la figure 15, les concentrations moyennes des éléments mineurs au point CB situé sur le canal BRAKINA et au point B situé sur le marigot Bingbélé (prolongement du canal BRAKINA).

A travers la figure 14, on remarque globalement qu'à la première campagne de prélèvement (15 septembre), les teneurs des éléments sont plus faibles (400 μ S/cm de conductivité électrique, 40 mg/l de DCO et 20 mg/l de DBO5) et varient très peu entre les deux points à l'exception des teneurs en MES qui sont significativement plus élevées au niveau du Bingbélé (785 mg/l) qu'au niveau du canal BRAKINA. Par contre, en deuxième campagne, les teneurs sont plus élevées et enregistrent une baisse significative du point CB au point B pour tous les quatre paramètres ci-dessus énumérés. Au point CB, l'analyse chimique a donné une conductivité électrique de l'ordre de 1300 μ S/cm et les teneurs de l'ordre de 400 mg/l, 470 mg/l et 2350 mg/l. respectivement en MES, DCO et DBO5.

La figure 15 montre aux stations CB et B, la présence de substances eutrophisantes (ammonium, nitrates et orthophosphates) et de métaux lourds (Fer, Zinc et Manganèse) mais en très faibles concentrations. Hormis les orthophosphates, les teneurs de tous ces éléments qui étaient de 1,3 ; 1,8 ; 1,3 ; 0,15 et 0,9 mg/l respectivement en ammonium, en nitrates, en fer, en zinc et en manganèse au niveau du canal BRAKINA ont connu une augmentation au niveau du Bingbélé, mais la différence n'est pas significative au seuil de 5 %. L'analyse chimique a révélé également la présence remarquable des sulfates au point CB à la première campagne avec une teneur de 1220 mg/l contre 33 mg/l au point B tandis qu'à la deuxième campagne sa teneur est négligeable.

L'analyse microbiologique a révélé la présence effective des Staphylocoques, Streptocoques ; mais les concentrations sont plus importantes au canal BRAKINA qu'au Bingbélé. Elles sont respectivement de l'ordre de 2625000 et 65000 UFC/100ml au point CB contre 400000 et 25000 UFC/100ml au point B.

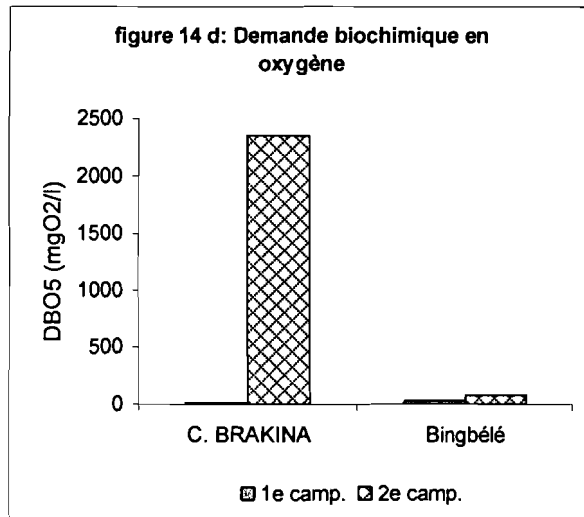
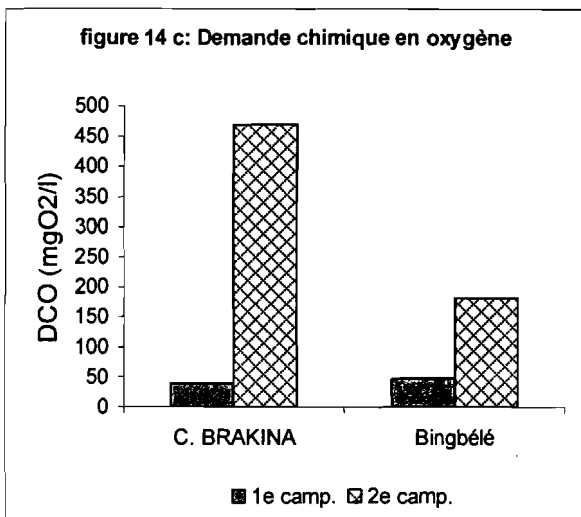
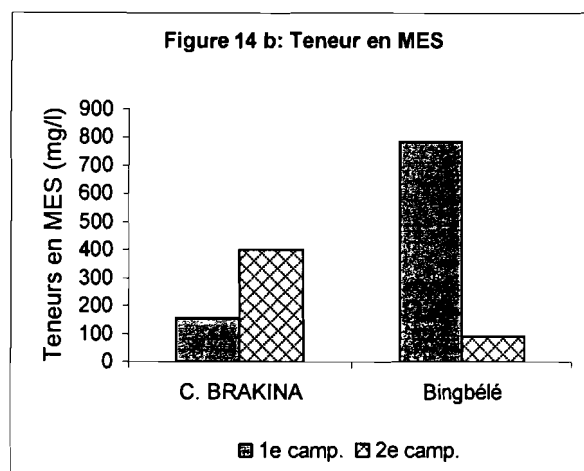
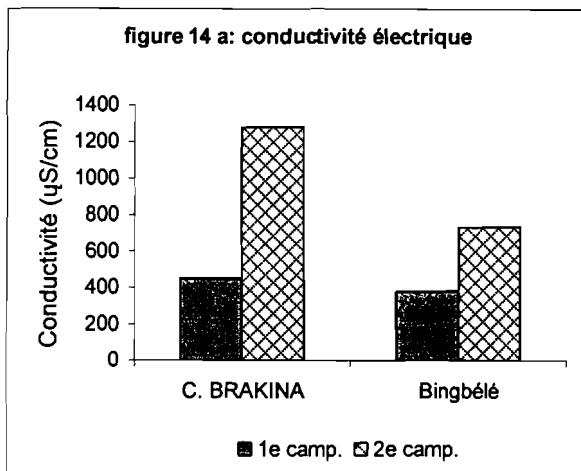


Figure 14 : Evolution spatio-temporelle des éléments majeurs dans les eaux du canal BRAKINA et du Bingbéle

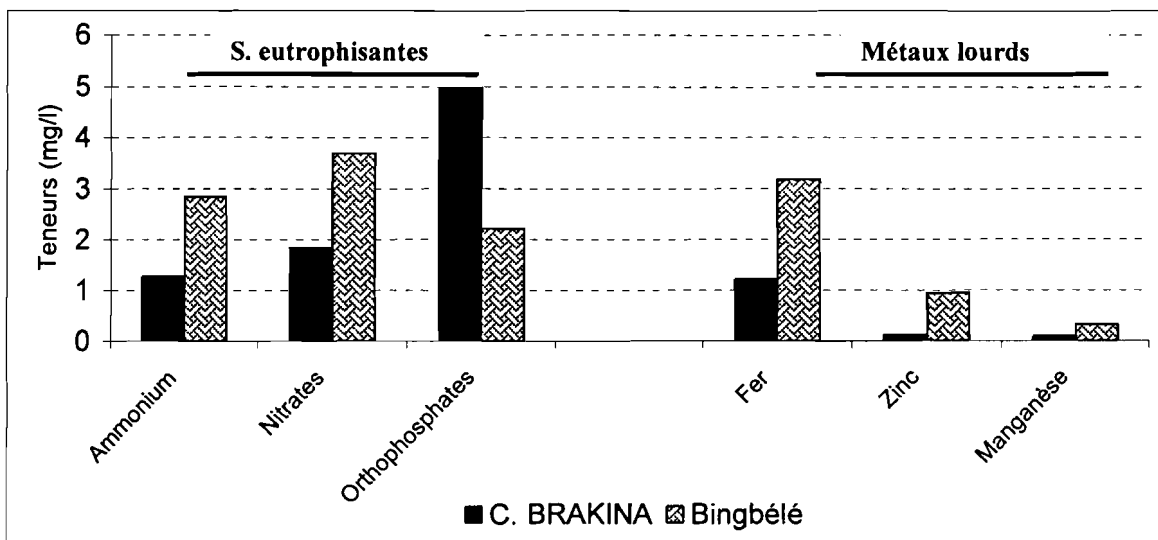


Figure 15 : Teneurs moyennes des éléments mineurs dans les eaux du canal BRAKINA et du Bingbéle.

3.2.1.4. Variation de la qualité des eaux de l'affluent du Kou

La figure 16 illustre la variation spatio-temporelle de la conductivité électrique et des teneurs des éléments caractéristiques de la pollution organique des eaux de l'affluent du Kou.

D'une manière générale, on constate que la contamination organique relativement forte à la première campagne de prélèvement, a diminué significativement à la deuxième campagne même si la demande biochimique en oxygène (DBO₅) n'a pas respecté cette tendance. En effet, les matières en suspension (MES) et la demande chimique en oxygène (DCO) sont passées respectivement de 618 mg/l à 4 mg/l et de 32 mg/l à 19 mg/l en moyenne. Par contre, la DBO₅ moyenne très faible, est passée de 12 mg/l à 15 mg/l. Entre les deux périodes de prélèvement, la conductivité électrique moyenne a également augmenté en passant de 208 à 258 μ S/cm. Le pH, neutre (7,3) n'a pratiquement pas varié. L'oxygène dissous est passé de 4,3 mg/l à 5,5 mg/l.

Une comparaison faite entre les deux points de prélèvement choisis de l'amont vers l'aval (AK1 et AK2), indique que du point de vue de leur degré de pollution, AK1 plus pollué que AK2 pour la deuxième campagne de prélèvement (Figure 16). Cette conclusion n'est pas toujours vérifiée à la première campagne car AK1 est légèrement plus chargé que AK2 pour seulement deux paramètres (la conductivité électrique et la DCO). Les MES et la DBO₅ ont par contre, connu une légère augmentation au niveau de AK2.

Les substances responsables de l'eutrophisation des eaux (azote ammoniacal, nitrates, nitrites ortho phosphates, sulfates) et les métaux lourds (nickel, cobalt, chrome, fer, zinc, manganèse) sont également présents dans les eaux de cet affluent du Kou mais en concentrations très faibles voire négligeables pour certains éléments (nickel, chrome, fer). Leurs teneurs obtenues à la deuxième campagne sont encore plus faibles comparativement à celles de la première campagne. En se basant sur les résultats obtenus au premier prélèvement (Figures 17 et 18), on peut remarquer qu'alors les substances eutrophisantes ont des teneurs plus élevées en amont, ce sont plutôt les métaux lourds qui ont les plus fortes teneurs en aval. En effet AK1 a enregistré les teneurs les plus élevées en ammonium (1,0 mg/l), en nitrates (4,9 mg/l) et en sulfates (19,0 mg/l) (figure 15 a) alors que les teneurs les plus élevées en cobalt (1,0 mg/l), en fer (2,8 mg/l) et en manganèse (0,5 mg/l) ont été obtenues au deuxième point (AK2) (Figure 15 b). L'analyse microbiologique a montré que les eaux de l'affluent du Kou sont indemnes des streptocoques. Elle a par contre, révélé la forte présence des Staphylocoques mais en concentration plus élevée en aval (AK2) que près de la zone industrielle (AK1). Leurs teneurs sont de l'ordre de 75000 UFC/100ml en AK1 et de 100000 UFC/100ml en AK2.

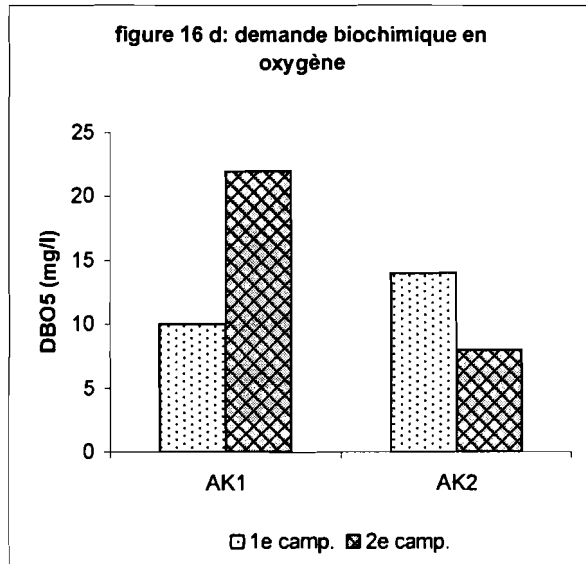
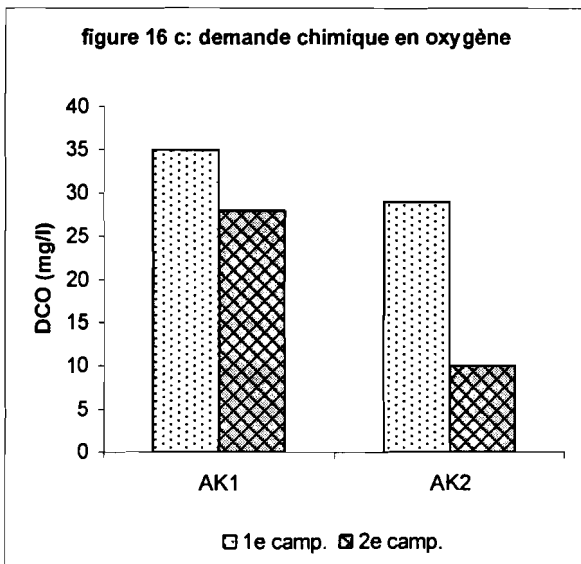
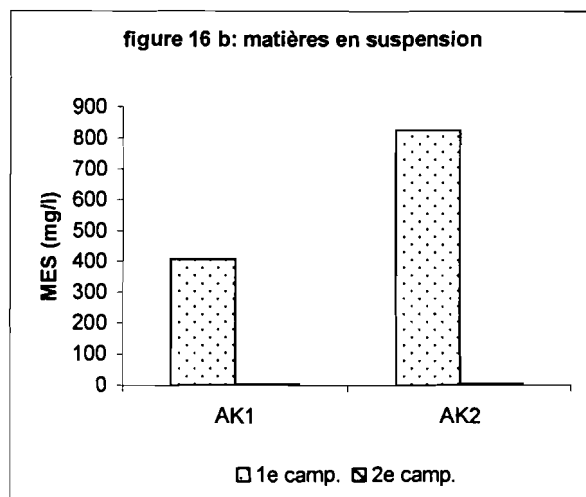
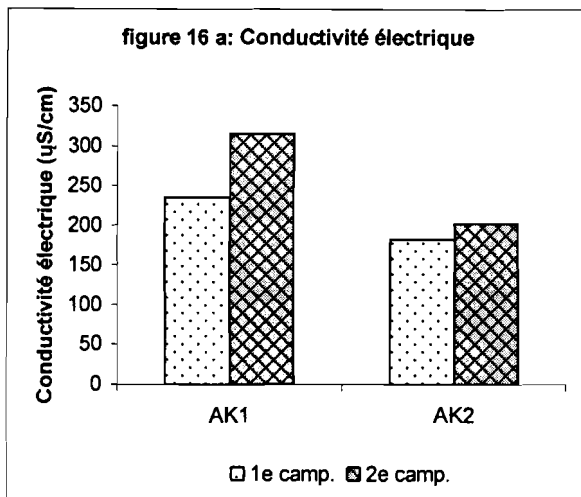


Figure 16 : Evolution spatio-temporelle de quelques paramètres sur l'affluent du Kou

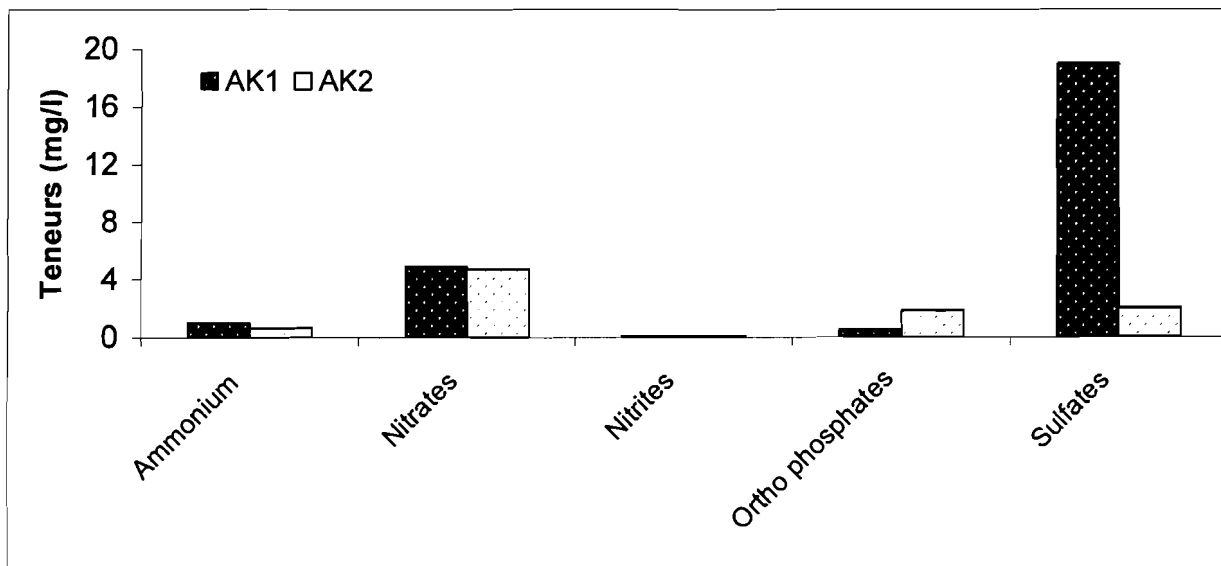


Figure 17 : Evolution des teneurs des substances eutrophisantes sur l'affluent du Kou

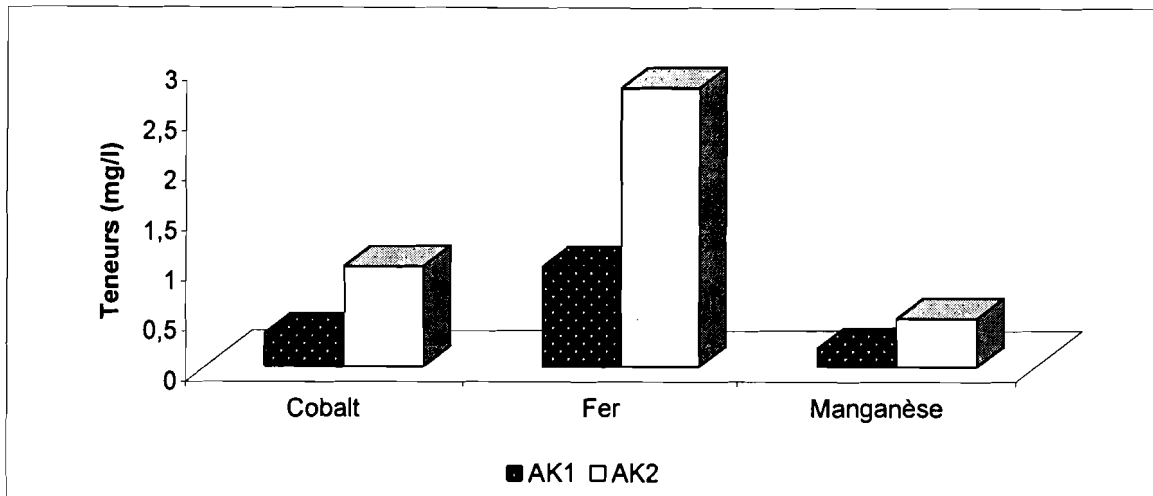


Figure 18 : Evolution des teneurs des métaux lourds sur l'affluent du Kou.

3.2.1.5. Analyse des eaux de la lagune de la zone industrielle (LZI)

Les eaux retenues dans la lagune située dans la zone industrielle ont été également analysées. L'objectif était de connaître le comportement physico-chimique de cette lagune face aux déchets des unités industrielles en amont et partant le risque de pollution de son environnement et surtout de la nappe phréatique.

Les teneurs moyennes de quelques paramètres physico-chimiques et bactériologique dosés dans les échantillons d'eau sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11 : Teneurs moyennes de quelques paramètres dans la LZI

<i>DCO</i>	<i>DBO5</i>	<i>Ammonium</i>	<i>Orthophosphates</i>	<i>Sulfate</i>	<i>Fer</i>	<i>Staphylocoques</i>
(mgO2/l)			(mg/l)			UFC/100 ml)
1765	455	4,7	4,41	76	2,5	125000

Il apparaît que les eaux recueillies dans cette lagune sont alcalines et très riches en matières organiques (1765 mg/l en DCO) difficilement biodégradables ($DCO/DBO_5 > 3$). La conductivité électrique indique une minéralisation très élevée. Les principales substances responsables de l'eutrophisation (ammonium, orthophosphates et sulfates) sont également présentes avec surtout une très forte teneur en sulfates (76 mg/l). La plupart des métaux dosés ont des teneurs très faibles. Seul le fer a une teneur moyenne de 2,5 mg/l. L'analyse microbiologique a révélé la seule présence de staphylocoques avec une concentration de 125000 UFC/100ml.

3.2.2. Discussion

3.2.2.1. Influence des rejets industriels sur la qualité des eaux des puits

C'est le gîte de
Moulin
Cuvée de puits

Une partie de la population de Bobo-Dioulasso s'approvisionne toujours en eau par des puits. La plupart de ces puits sont situés dans les zones où la nappe affleure à moins de 10 mètres de la surface (ONEA, 1997 ; ECOLOC, 2003). La protection de la qualité de ces eaux est donc un objectif prioritaire.

Nos résultats montrent que la pollution bactériologique est plus marquée et ce dans la plupart des puits. Les valeurs élevées en coliformes fécaux au niveau de la nappe phréatique de Bobo-Dioulasso sont semblables à ceux trouvés au niveau de la nappe phréatique de Yaoundé (Cameroun) où les concentrations maximales annuelles fluctuent de 2 à $3,5 \cdot 10^{10}$ UFC/100mL (Nola et al., 1998). De même des fortes concentrations en coliformes fécaux ont été enregistrées au niveau des eaux de puits de la nappe phréatique de Yembeul (Sénégal) avec des fluctuations entre 0 et $6,8 \cdot 10^{10}$ UFC/100mL (Tandia et al., 1997). Nos résultats restent cependant contradictoires aux observations de Lorenzini (2007) avec des prélèvements effectués en 2000 et en juillet 2005. Selon lui, aucune contamination de l'eau souterraine dans la région de Bobo-Dioulasso n'a été constatée mais suggère des analyses plus approfondies.

La contamination des nappes de Bobo-Dioulasso n'est pas seulement bactériologique. En effet, la forte contamination d'origine fécale s'accompagne très naturellement d'une pollution azotée (Chippaux et al., 2002) que l'on voit bien à travers le tableau 10. La présence de certains éléments chimiques doit être également soulignée même si leurs teneurs restent en dessous du seuil de potabilité. Au Pays-Bas par exemple, la limite de pollution pour les nitrates dans les eaux souterraines est fixée à 5,6 mg/l (LAU-BW, 1989 cité par Rodier, 1996) La présence de micro-polluants, dans différents compartiments du milieu aquatique, même à l'état de traces et d'ultra-traces, est un motif de préoccupation pour l'écologie et la santé de l'environnement (Saad et al., 1994).

→ teneurs élevées
de pollution
nitrate

Tous les puits étudiés se trouvent dans la zone où la profondeur de la nappe varie entre 10 et 20 m. La tendance à la baisse des teneurs en nitrates et de la conductivité électrique du puit P1 au puit P6 suggère l'influence de la zone industrielle sur la qualité de la nappe. En effet, les puits perdus utilisés comme moyens d'évacuation des eaux usées au sein de certains établissements industriels sont l'une des sources probables de la contamination de la nappe. En outre, la variation de la concentration en nitrates constatée entre les différents puits peut être liée entre autre à l'hétérogénéité du milieu physique. Pour Saad et al. (1994), la texture de la surface à la lithologie peut expliquer la grande variabilité spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux. Boutin (1987), a mentionné également que l'eau d'une nappe phréatique est

d'autant plus vulnérable que le sommet de la nappe est proche de la surface du sol, que les terrains qui surmontent l'aquifère sont perméables et que les sources superficielles de pollution sont importantes. Ce qui est le cas de notre zone d'étude.

3.2.2.2. Influence des rejets industriels sur la pollution des eaux de surface

Cas du marigot Houet

En comparant les différentes teneurs obtenues dans les échantillons analysés aux valeurs maximales admissibles (valeurs limites de pollution) pour les eaux de surface, il apparaît très clairement que les eaux du marigot Houet sont de qualité mauvaise.

En effet, pour les paramètres de pollution organique, les teneurs obtenues sont nettement supérieures aux valeurs limites de pollution (75 mg/l, 30 mg/l et 3 mg/l respectivement pour les MES, la DCO et la DBO₅) (Rodier, 1996). Toutefois, dans un milieu nettement pollué, de faibles valeurs de DBO₅ peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs, d'où l'intérêt de ne pas considérer la DBO₅ comme unique critère d'estimation de la qualité de l'eau (Rodier, 1996).

La conductivité électrique suit le même rythme et traduit une minéralisation moyenne des eaux du Houet (Rodier, 1996). Des résultats similaires ont été obtenus par Banhoro (2007) avec des prélèvements effectués en juin. Cette situation n'est pas dangereuse au regard de la valeur limite admissible dans les eaux de surface (2000 µS/cm). Le pH obtenu est également conforme à celui trouvé par Banhoro (2007). Ce pH ne présente pas de danger pour la vie aquatique dont la zone de pH favorable se situe entre 6 et 7,2 (Menviq, 1990).

Les teneurs moyennes des nitrates, des orthophosphates et des sulfates des eaux du Houet sont supérieures à celles enregistrées dans le lac Lemman (Lausanne) qui connaissait une eutrophisation maximale (Rapin et *al.*, 1989) et dans le lac Ichkeul (Tunisie), où la teneur moyenne en orthophosphates de 0,050 mg/l (Ben M'barek, 1995) est considérée comme un signal d'eutrophisation. Au Québec, on a établi le seuil de l'eutrophisation à 0,03 mg/l de phosphore total (Menviq, 1990). En Suède, où les conditions climatiques, hydrologiques, pédologiques et écologiques s'apparentent à celles du Québec, il a été établi une classification (en termes de phosphore et d'azote total) visant la protection des lacs et des cours d'eau (SEPA, 1991). On considère comme élevées des concentrations entre 0,025 et 0,05 mg/l et comme très élevées des concentrations supérieures à 0,05 mg/l. Ce qui permet de classer le marigot Houet parmi les milieux eutrophes, courant donc un risque sérieux de dégradation (développement d'algues, disparition des poissons). Les deux principales causes de

l'eutrophisation sont les épandages agricoles excessivement riches en engrais (azote et phosphore), et les rejets industriels ou urbains riches en nitrates, ammonium, matière organique non traitée. Dans notre cas, on peut donc incriminer la deuxième origine.

En ce qui concerne la contamination métallique, les teneurs maximales en cobalt et en chrome obtenues au Point H1 (0,7 mg/l et 0,5 mg/l) dépassent les teneurs fixées par l'union européenne (0,050 mg/l pour chacun des deux paramètres) (DVGW, 1975 ; LAU-BW, 1989 cités par Rodier, 1996). Ces éléments métalliques peuvent avoir un incident sur la vie aquatique. La somme des rapports de leurs teneurs par rapport aux valeurs guides (environ 3) dépasse le seuil admissible fixé à 1.

Les valeurs maximales en MES, DCO et DBO5 obtenues au point H2 situé au centre ville indique une charge organique plus importante comparée à H1 et H3. La diminution du taux d'oxygène dissous au centre ville (H2) est en relation avec le métabolisme bactérien qui utilise l'oxygène pour dégrader la matière organique abondante surtout au niveau de ce point. En effet, tout au long du Houet arrivent régulièrement des eaux usées provenant des ménages, ce qui constitue un facteur supplémentaire de pollution. A ce propos, Ghrabi et *al.*, (2002) avancent que les matières organiques fortement présentes dans les ordures ménagères entraînent une augmentation de la charge polluante des eaux réceptrices.

L'évolution du pH a montré que les eaux du Houet s'acidifient légèrement lorsque l'on s'éloigne de la zone industrielle. Ce qui suggère une influence de la zone industrielle sur le pH du Houet. La principale responsable est la SN-CITEC dont les rejets sont les seuls à avoir un effet significatif sur le pH du marigot. Quant à la conductivité électrique, sa valeur est influencée significativement par les rejets de l'Abattoir et de la SN-CITEC. Son augmentation brutale au point H2, indiquant un apport important de sels minéraux, peut être attribuée aux rejets domestiques. En effet, plus la quantité de solides (sels minéraux) dissous dans l'eau est élevée, plus la conductivité est élevée. Même si la mesure ne permet pas d'identifier les ions qui produisent cette conductivité, on sait par contre que, dans la grande majorité des eaux, le calcium et le magnésium contribuent le plus à la conductivité. (http://pagesperso-orange.fr/aquatechnique/Techniques/page_%20conduc.htm, consulté le 21/03/2009). Toutefois, les valeurs obtenues se situent entre 200 et 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, n'impliquent de ce point de vue, aucun risque particulier (<http://www.laease.com/conductivite.html> consulté le 21/03/2009). Cependant, ces résultats sont à prendre avec un peu de réserve car dans les eaux de surface, des modifications importantes du pH et de la conductivité peuvent intervenir rapidement au cours de la journée (Rodier, 1996). D'ailleurs, une série de mesures plus

importante de pH (38 points) tout au long du Houet n'a montré aucune tendance (Banhero, 2007).

L'augmentation de la teneur en sulfates au point H3, malgré la dilution des eaux du Houet en aval, pourrait être attribuée à la forte charge des rejets de l'abattoir en sulfates (1113 mg/l).

Pour les métaux lourds, on peut suspecter une origine industrielle car le point H1 le plus proche de la zone industrielle est le plus chargé en métaux lourds comparativement aux points H2 et H3. A ce propos, Nassali et *al.* (2002) avancent que les eaux usées industrielles sont considérées comme les premières sources de la pollution des eaux par les métaux lourds.

La présence des germes de contamination fécale a une origine beaucoup plus domestique qu'industrielle en raison de leur forte teneur enregistrée au point H2 situé au centre ville. Cependant, les rejets de l'abattoir très riche en Staphylocoques (3250000 UFC/100 ml) qui se jettent directement dans le Houet peuvent être considérés comme l'une des sources probables de la charge bactériologique relevée au point H3. Globalement, l'ensemble des analyses bactériologiques font apparaître une origine domestique dans la mesure où leurs concentrations sont plus élevées au centre ville qu'ailleurs.

Les charges polluantes n'ont pas grande signification si elles ne sont pas rapportées aux flux d'eau naturels qui les diluent. Le marigot Houet, le plus pollué, est aussi le plus soumis aux plus fortes circulations d'eaux que ce soit quotidiennement à cause des rejets ménagers ou saisonnièrement à cause du passage des crues fluviales.

Les valeurs sont plus élevées en septembre. Cela est dû aux eaux des crues qui véhiculent ces paramètres. Bobo-Dioulasso, à l'instar de nombreuses villes africaines, a des réseaux d'égouts à ciel ouvert qui sont gorgées d'eau pendant la saison des pluies de sorte que les eaux réceptrices accueillent subitement des quantités importantes de matière organique (Saad et *al.*, 1990). Les valeurs obtenues pendant la deuxième campagne varient très peu d'une station à l'autre. Ceci montre l'aspect stagnant du marigot Houet en cette période.

Cas de l'axe canal BRAKINA-Bingbélé

La matière organique évaluée par la mesure de la DCO de la DBO₅ et des MES est plus importante au point CB situé sur le canal BRAKINA qu'au point B (Bingbélé). LNAE (2005) a obtenu des teneurs plus élevées avec des prélèvements effectués en avril mais a observé la même tendance d'évolution. Cela s'explique sans doute par le fait que le point CB, en l'absence de débordement du canal BRAKINA par les crues, reçoit directement les rejets de la

SN-CITEC, de la SONABHY, de la SOBIB et de la BRAKINA, qui sont les déchets les plus riches en MES, en DCO en DBO₅. La SN-CITEC semble la principale responsable de la charge organique observée au point CB en raison de la forte teneur de ses rejets en MES (1442 mg/l), en DCO (8843 mgO₂/l) et en DBO₅ (730 mg/O₂/l). Elle est suivie par la BRAKINA avec seulement 150, 396 et 98 mg/l respectivement en MES, en DCO et en DBO₅. Cette explication est également valable pour le cas de la conductivité électrique et des orthophosphates et corrobore les résultats obtenus par LNAE (2000). L'élévation de la conductivité est imputable aux rejets de la SN-CITEC (différence significative) alors que celle des orthophosphates serait plutôt due à un effet additif des rejets dans le canal BRAKINA.

Les rejets industriels aboutissant dans le canal BRAKINA n'ont pas eu une influence significative sur la contamination de l'axe canal BRAKINA-Bingbélé en ammonium, en nitrates, en fer, en zinc et en manganèse au vu de leurs faibles teneurs au point CB. Les concentrations en fer, en zinc et en manganèse sont comparables aux teneurs mesurées dans les eaux pluviales (Bertrand-Krajewski et al., 2000 ; Burton et Puit, 2002 ; Ganaye, 2006). Ces teneurs ont connu une légère hausse dans le Bingbélé. Ceci est dû notamment aux eaux usées domestiques qui s'y déversent surtout en temps de pluie. Notons également la présence de la SITARAIL dont la station de nettoyage des machines produit des eaux usées moyennement riches en métaux lourds (fer, zinc, manganèse) qui se jettent dans le prolongement du canal BRAKINA. Ce qui pourrait également entraîner la contamination métallique du Bingbélé. La contamination en fer du Bingbélé est particulièrement inquiétante car sa teneur dépasse largement la valeur admissible dans les eaux de surface. La somme des rapports des teneurs obtenues sur les valeurs seuils (12) dépasse la limite autorisée (1) (Rodier, 1996 indiquant que l'action simultanée de l'ensemble des métaux peut s'avérer très préjudiciable à la vie aquatique.).

La forte contamination bactériologique (streptocoques, staphylocoques) du canal BRAKINA aurait pour principale origine les rejets de la BRAKINA, les plus riches en germes (indénombrables). La baisse de leurs teneurs en aval (Bingbélé) montre que les rejets domestiques n'ont pas d'influence significative sur la contamination du marigot Bingbélé. LNAE (2005) a pourtant trouvé des valeurs également indénombrables en coliformes fécaux et en streptocoques dans le Bingblélé montrant ainsi la forte contamination bactériologique tout au long de l'axe canal BRAKINA-Bingbélé.

Cas de l'affluent du Kou

L'affluent du Kou qui a également fait l'objet de cette étude, prend sa source à l'ouest de la zone industrielle. Il est considéré comme le principal drain qui recueille les eaux usées en provenance des unités industrielles situées en amont.

C'est généralement en saison des pluies qu'il joue le rôle de véritable canal d'évacuation des déchets et d'autres substances suite à leur entraînement par les eaux des pluies (LNAE, 2004). C'est ce qui expliquerait les fortes teneurs en matières en suspension et en matière organique constatées à la première campagne de prélèvement, comparativement à celles de la deuxième campagne. Il a été démontré que les effluents des industries textiles contiennent des fibres, des substances organo-chimiques toxiques et des métaux lourds (Saad et *al.*, 1994). Les déchets solides tels que les tourteaux de coton et les eaux usées abandonnés par la Société Burkinabè des Fibres Textiles (SOFITEX), la Filature du Sahel (FILSAH) situées en amont sont des sources probables des MES et des matières organiques dosées. Le rapport DCO/DBO5 (> 2) indique que ces matières organiques ne sont pas facilement biodégradables. Ce qui explique le taux élevé de l'oxygène dissous (4 à 5,5 mg/l).

Par contre, la conductivité électrique a connu une augmentation à la deuxième campagne. Des résultats similaires ont été obtenus par Luu et *al.* (2007) sur le fleuve rouge (Vietnam). Ces auteurs rapportent que les éléments dissous assimilés par la mesure de la conductivité électrique ont tendance à se concentrer dans les cours d'eau avec la diminution des débits.

Le phytoplancton est plus dense en aval de l'affluent du Kou que près de la zone industrielle. On pourrait attribuer l'absence d'algues à la source de l'affluent à l'abondance de la matière organique à cet endroit. Beecroft et *al.* (1987) et Awanda (1987) cités par Saad et *al.* (1994) ont d'ailleurs observé que le phytoplancton était moins dense dans les endroits où la rivière Kaduna (Nigéria) recevait de fortes charges de polluants organiques. Mais cela n'exclut pas que l'affluent soit classé parmi les milieux très eutrophes. Les nutriments (ammonium, nitrates, orthophosphates et sulfates) ont été en grande partie consommés par les algues. Ce qui expliquerait leurs faibles teneurs.

Quant aux métaux lourds, leurs faibles teneurs seraient dues à l'absence de rejets riches en éléments métalliques dans l'affluent du Kou. Au regard des valeurs admissibles dans les eaux de surface, ces métaux pris individuellement n'auraient pas d'incidence majeure sur la vie aquatique. Toutefois, leur action simultanée pourrait avoir des effets négatifs sur la vie des êtres vivants dans cet affluent du Kou. En effet, la somme des rapports de leurs teneurs sur les valeurs limites autorisées dans les eaux de surface obtenue (8) se situe au delà de la limite

admise (1) pour laquelle l'effet additif des métaux n'aurait pas d'incidence majeure sur la vie des organismes aquatiques (Rodier, 1996).

La baisse relative des teneurs de la majorité des éléments dosés, constatée en aval (AK2) montre l'influence directe de la zone industrielle sur la contamination des eaux du Kou. Cependant à la première campagne, les MES étaient plus élevées en aval. Cette relation entre ces deux points d'observation situés à environ deux kilomètres d'intervalle conduit à penser que cette augmentation de MES est plus liée à un processus naturel qu'à une pollution anthropique ponctuelle. Il est probable que ce processus puisse être un phénomène d'érosion de berges. Les staphylocoques ont également connu une légère hausse au point AK2. On pourrait attribuer cette forte contamination bactériologique du point AK2 aux déjections humaines et animales, et aux rejets domestiques du quartier (Kodeni) situé entre les deux points de prélèvement. Dans la plupart des prélèvements, les concentrations en métaux lourds observées ne peuvent être considérées comme anormales ou du moins significatives d'une pollution. Néanmoins, au point AK2, deux métaux hautement toxiques, le fer et le cobalt présentent des concentrations qui en valeur relative peuvent être considérées comme élevées.

Cas de la lagune de la zone industrielle.

La forte charge chimique des eaux montre que cette lagune est un véritable dépotoir des déchets surtout d'origine organique. En effet elle reçoit non seulement les déchets sous forme solide apportés volontairement par les différents établissements industriels environnants, mais aussi les éléments chimiques apportés par les eaux de ruissellement. Ce qui traduit nettement l'impact direct des déchets industriels. La forte charge organique et la forte conductivité électrique obtenues, n'expriment seulement que la fraction dissoute des déchets dans l'eau. Ce qui indique la nature très polluée des eaux de cette lagune. Elle présente d'importants risques pour les milieux environnants. En effet, ces eaux retenues subissent soit une évaporation, soit une infiltration vers la nappe phréatique qui affleure à moins de 10 m de la surface.

3.2.3. Conclusion

Les substances polluantes générées par les établissements industriels parviennent dans les milieux aquatiques environnants, mais à des degrés divers. Le marigot Houet, collecteur principal des eaux usées de la ville de Bobo-Dioulasso, connaît une pollution organique importante qui se fait sentir de façon très nette au centre ville. Il est plutôt dominé par les eaux

usées domestiques mais demeure perturbé par les rejets de l'abattoir en aval. Les rejets industriels ont d'autres destinations plus importantes. Le canal BRAKINA véhicule les rejets des plus gros 'pollueurs' de la zone industrielle. Les substances polluantes subissent des perturbations à l'intérieur de la ville, mais parviennent tout de même avec des teneurs relativement plus faibles au marigot Bingbéle qui les conduit dans la nature. L'affluent du Kou est un véritable drain qui recueille les déchets industriels surtout en temps de pluie au Nord-ouest de la zone industrielle, et les conduit progressivement jusqu'au fleuve Kou. La lagune située à l'intérieur de la zone industrielle qui ne semble pas aménagée pour un traitement des déchets, est un nid de pollution fortement influencé par les déchets industriels. Elle constitue une source probable de contamination des eaux et il faut trouver une mesure d'atténuation des risques. L'origine de la contamination des eaux souterraines est beaucoup plus difficile à définir. Cependant, l'évolution des teneurs en nitrates et de la conductivité dans les puits en fonction de l'éloignement de la zone industrielle, suggère une influence des déchets industriels sur la contamination de la nappe.

Conclusion générale

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet dénommé "*Perceptions des problèmes environnementaux des dirigeants d'entreprise au Burkina Faso et stratégies d'opérationnalisation du développement durable*". L'objectif majeur est d'analyser l'impact des activités industrielles sur l'environnement afin de mettre en œuvre des systèmes de production compatibles avec la durabilité. Dans le cas spécifique de notre étude, il s'est agit d'étudier, en se basant sur des analyses chimiques et microbiologiques, l'influence des rejets d'origine industrielle sur la contamination des eaux (eaux de surface et eaux souterraines) à Bobo-Dioulasso, la deuxième plus grande ville industrielle du pays.

A l'issu de nos investigations il ressort que :

➤ Concernant les rejets industriels

Les rejets des établissements industriels étudiés ne répondent pas aux normes nationales en vigueur. Leur composition physico-chimique et microbiologique est très variable selon le type d'établissement. Les valeurs moyennes obtenues en MES, en DBO5, en DCO, an ammonium, en ortho phosphates et en sulfates montrent que les charges polluantes sont essentiellement organiques. La SN-CITEC et l'Abattoir frigorifique se distinguent nettement comme les plus gros pollueurs. Les rejets de la BRAKINA restent dominés par la forte présence des bactéries. Ces rejets se présentent ainsi comme des sources potentielles de contamination des eaux réceptrices

➤ Concernant la contamination des eaux souterraines

L'analyse des eaux des puits étudiés révèle que la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe phréatique est très faiblement contaminée. La zone industrielle semble avoir une part de responsabilité dans cette pollution des eaux souterraines. (dephelt souest p...?)

➤ Concernant la contamination des eaux de surface

La plupart des cours d'eau de la ville de Bobo-Dioulasso se révèlent être victimes des externalités négatives des rejets industriels. Ils sont contaminés à des degrés divers. Les effets sont plus visibles surtout sur l'axe canal BRAKINA-marigot Bingbéle qui reçoit essentiellement les rejets de la SN-CITEC, de la SONABHY, de la SOFIB-huilerie et de la BRAKINA. Le second axe le plus contaminé est l'affluent du Kou qui prend sa source au Nord-Ouest de la zone industrielle. Il draine les déchets de nombreux établissements industriels dont la SOFITEX, la FILSAH. Le marigot Houet est aussi atteint, mais surtout par les rejets de l'abattoir frigorifique. Sa source de contamination la plus importante, est le déversement incessant des eaux usées domestiques du centre ville.

Recommandations

Il ressort de ces résultats que les rejets industriels sont dominés par les matières biodégradables. On peut donc recommander aux industriels d'utiliser des méthodes appropriées de traitements biologiques des déchets avant rejets. Les évacuations clandestines des déchets (au moyen des puits perdus et des eaux de ruissellement pendant la saison pluvieuse) doivent être interdites, repérées et sanctionnées. Il convient alors d'encourager l'utilisation des retenues d'eaux usées au sein de chaque établissement avant d'envisager des possibilités de traitement.

Le raccordement au système d'égouts de l'ONEA constitue une lueur d'espoir. Cependant, il doit être étendu à tous les établissements industriels et rigoureusement utilisé.

Perspectives

Dans la région d'étude, même si les teneurs des substances polluantes dans les eaux ne sont pas encore alarmantes, la situation risque de s'aggraver avec l'intensification des activités industrielles. Ainsi, il apparaît primordial d'imposer la réalisation d'études d'impact environnemental avant toute nouvelle installation.

L'étude devrait inclure l'analyse des sédiments car ils servent non seulement comme vecteur de transport mais aussi comme lieu de stockage et d'accumulation des polluants. Une étude d'écotoxicologie des eaux est également nécessaire pour mieux évaluer l'ampleur des effets néfastes des rejets industriels sur l'environnement.

En ce qui concerne la pollution du marigot Houet, en réalité, ce sont surtout les rejets domestiques qui mériteraient une attention plus soutenue, même si ce collecteur semble garder un bon pouvoir d'autoépuration. Les déchets de l'Abattoir frigorifique constituent une source importante de fertilisants facilement récupérable qu'il serait intéressant de valoriser.

Enfin, il serait intéressant de poursuivre la présente étude car son caractère ponctuel confère aux résultats une certaine relativité. Une étude permanente (incluant d'autres zones industrielles) se basant sur une approche "modélisation" permettrait de disposer d'informations plus complètes afin d'adapter plus efficacement des systèmes de production industrielle compatibles avec la durabilité.

Références bibliographiques

- AFNOR, 1999.** La qualité de l'eau : terminologie, échantillonnage, contrôle qualité. Tome 1, 493p.
- Anafide, 2006.** Impact de l'irrigation et de l'intensification agricole sur la qualité des eaux. Rapport projet CISeau, Maroc, 28p.
- APHA, 1995.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed., 65p.
- Ativon K. L., 1988.** A propos des normes de potabilité des eaux d'alimentation en Afrique. Bull. Liaison CIEH, 73 : pp3-13.
- Banhoro C., 2007.** La pollution du marigot Houet et ses conséquences potentielles sur l'environnement. Rapport de fin de cycle Diplôme des contrôleurs des eaux et forêts, ENEF (Bobo-Dioulasso), 50p.
- Battle Aguilar J., Orban Ph., Dassargues A., Brouyère S., 2007.** Identification of groundwater quality trends in a chalk aquifer in Belgium, threatened by intensive agriculture. Hydrology Journal, accepted, 2007. pp56-70.
- Bilgo A., 1992.** Contribution à la valorisation agricole des différentes sources de matières organiques au Burkina Faso: évaluation des potentialités et des caractéristiques des déchets agricoles, agro-industriels et urbains. Mém. IDR, Université de Ouagadougou, 87p.
- BIOGEO, 1999.** Analyses physicochimiques : Demande biologique en oxygène. In <http://www.inrp.fr/Acces/Biogeo/cooper/eau/html/dbo5.htm>, consulté le 26/03/2009.
- Boutin A., 1987.** L'eau des nappes phréatiques superficielles, une richesse naturelle vitale mais vulnérable. L'exemple des Zones rurales du Maroc, Sci. Eau, 6 (3) (1987) pp357-65.
- Bremond R. Perredon C., 1979.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement Paris, 259p.
- Cebedeau, 2000.** Mode opératoire : Détermination de la Demande chimique en oxygène; Liège (Belgique), 45p.
- Chatellier P., Audic J.M., 1999.** Estimation in situ de la respiration des boues activées par application d'un bilan sur l'oxygène. Rev. Sci. Eau 12/3 (1999). pp509-514.

CREPA, 2007. Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées : Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. *In* Capitalisation de l'évolution générale du CREPA (1987-2005). 42p.

Dajoz R., 1982. Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée. Quatrième édition Bordas Paris, 503p.

DRIRE, 2004. La pollution de l'eau d'origine industrielle. In : le bilan de l'environnement industriel en RHÔNE-ALPES. Edition 2004, pp53-79.

Dubois J. TH, 1958. Evolution de la température de l'oxygène dissous et de la transparence dans la baie Nord du lac Tanganyika. *Hydrobiologia*. Vol. 10 Num 1/avril 1958, pp215-240.

ECOLOC, 2003. Les services urbains de base dans la commune de Bobo-Dioulasso PDM Programme ECOLOC août 2003. http://www.uneca.org/codi/documents/pdf/le%20programme%20ecoloc_33.pdf. Consulté le 15/03/2009.

El Guamri Y., Belghyti D., 2006. Etude de la qualité physico-chimique des eaux usées brutes de la commune urbaine de Saknia, rejetées dans le lac Fouarat (Kenitra, Maroc) ; *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, (décembre 2006), Numéro 1, pp 53-60.

Farinet J., Niang S., 2005. Le recyclage des déchets et effluents dans l'agriculture urbaine. www.idrc.ca Home > idrc publications > idrc books online > all our books > développement durable de l'agriculture en afrique francophone> ,consulté le 15/01/2009.

Ghrabi A. ; R'Houma A. ; Ennabli M. ; Picoud F. 2002. Caractérisation des déchets ménagers de la région du sahel de la Tunisie. *In*: proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and waste management. 7-10 january 2002, Tunis (EPCOWM'2002), pp260-270.

GIRE, 2001. Evaluation de l'impact des intrants agricoles sur la qualité des eaux. Rapport Etude d'Impact sur l'Environnement. Programme GIRE (Burkina Faso), 32p.

GKW-consult, 2005. Etudes pour l'assainissement de la ville de Bobo-Dioulasso et l'alimentation en eau potable de centre secondaires. Version définitive, 66p.

Goldscheider N., 2005. Karst groundwater vulnerability mapping: application of a new method in the Swabian Alb, Germany. *Hydrogeology Journal*, 13, pp555-564.

Gombert P., 1998. Synthèse sur la géologie et l'hydrogéologie de la série sédimentaire du Sud-Ouest du Burkina Faso. Programme RESO, sous-programme « Ressource en Eau », 25p.

Hakkou, R., Benzaazoua, M., Bussière, B., 2006. Évaluation de la qualité des eaux de ruissellement dans la mine abandonnée de Kettara (Maroc) ; 1^{er} congrès International Mines : Exploration, Exploitation et impact Environnemental (M3E). 14-15 Avril 2006, Bouznika (Maroc) 5p.

Illa C., 2004. Etat de la contamination des sols et des eaux par les pesticides en zone cotonnière: la Boucle du Mouhoun (BF) Mém DESS, Université de Ouagadougou, 52 p.

Kam M. A., 2007. Caractérisation des sources de pollution agricoles dans le bassin du kou et première ébauche de cartographie de la vulnérabilité des aquifères, Rapport de stage Maitrise Microbiologie appliquée. Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 68p.

Kao T., El Mejahed K., Bouzidi A., 2007. Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc). *Bull de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la vie, 2007, n°29, pp89-92.

Kiba D. I., 2007. Valorisation agronomique de déchets d'abattoir et de décharges de la ville de Ouagadougou: Caractérisation, effets sur la culture du maïs et sur le sol en station. Mém. DEA. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (Burkina faso), 49p.

LNAE, 2004. Etat des lieux de la pollution des ressources en eau au Burkina Faso, MECV 103p.

LNAE, 2005. Rapport technique de la campagne d'analyses des eaux résiduaires des unités industrielles de Bobo-Dioulasso, 14 p.

LNAE, 2007. Rapport de la campagne d'analyses des eaux résiduaires industrielles de la ville de Bobo-Dioulasso du 12 au 15 mars 2007, 33p.

Lorenzini G., 2007. Etat des lieux des ressources en eaux souterraines du bassin du Kou. Travail de fin d'études Ingénieur Civil Géologue, Université de Liège (Belgique), 118p.

Luu T., Nguyet M., Orange D., Dang T., LE Lan A., Garnier J., 2007. Impact des activités anthropiques sur les flux de matières en suspension et sur la qualité des eaux du fleuve Rouge (Vietnam) à l'entrée du delta. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 200. 6p.

MECV, 2003. Rapport du Séminaire/Atelier sur les technologies propres Ouagadougou, les 02, 03, 04 avril 2003, 17p.

Meinck F., Stooff H., Kohlschütter H., 1977. Les eaux résiduaires industrielles, 2^{ème} Ed. Masson, Paris, 863p.

Memotec, 2006. La biodégradabilité des effluents urbains, Memotec n°19. In <http://www.gls.fr/pdf/Memotec19-Biodegradabilite.pdf>, consulté le 26/03/2009.

Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ), 1992. Critères de qualité de l'eau. Service d'évaluation des rejets toxiques et Direction de la qualité des cours d'eau, Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, 425 p.

N.Ben M., 1995. Impact des ouvrages sur l'équilibre de l'écosystème "lac Ichkeul". Rapport de DEA, université de Tunis II, 100p.

Nassali H., Ben Bouih H. et Srhiri A., 2002. Effect of wastewater on the degradation of water quality in the case of Fouart lake in Morocco. Proceeding of International Environmental Pollution Control and Waste Management 7-10 January 2002, Tunis, pp3-14.

Ngassoum. M.B., Sieliechi. J.M., Djimoguinan. T., 2000. Evaluation de la pollution des eaux par les effluents de l'abattoir municipal de Ngaoundéré-Caméroun. In 5^{ème} conférence interrégionale sur l'environnement et l'eau, pp335 - 340.

Nguepi D., 1996. Evaluation des paramètres physico-chimiques des eaux usées ducampus universitaire de Ngaoundéré, Rapport de stage, Département de Chimie Appliquée, Université de Ngaoundéré, Caméroun, 35p.

Nola M., Njine T., Monkiedje A., Sikati Foko V. Djuikom E., 1998. Qualité bactériologique des eaux des sources et des puits de Yaoundé (Cameroun), Cahiers santé, 8 (5) (1998), pp330-336.

OMS, 1994. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Deuxième Edition, Vol. 1 : recommandations ; Genève, Suisse, 202 p.

OMS, 1986. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Vol. 3 : contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités ; Genève, suisse, 121p.

ONEA, 1999. Plan stratégique d'assainissement des eaux usées de la ville de Bobo-Dioulasso (PSAB). Rapport final ONEA (Burkina Faso), 46p.

ONEA, 2005. Assainissement de la ville de Bobo-Dioulasso: Assainissement et prétraitement des eaux usées industrielles de la SN-CITEC, Ouagadougou, Burkina Faso, 31p.

Oubien Chatellier P., Audic J.M., 1999 . Mass balance for an in situ estimation of the activated sludge specific oxygen uptake rate. Rev. Sci. Eau 12/3 (1999), pp509-514.

Ouédraogo A. Z., 2003. Etat de l'environnement industriel au Burkina Faso. Atelier Bobo-Dioulasso, 13 au 14 novembre 2003, 31p.

Pouilleute E., 1996. Les phénomènes d'eutrophisation des rivières, des lacs et des réservoirs. Mém D.U. en Eau et Environnement, D.E.P., Amiens, 40p.

Projet PDC, 2007. Plan de Développement Communal de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 60p.

Ramade F, (1982). Eléments d'écologie. Ecologie appliquée. Mc Graw-Hill (éd), 432p.

Rapin A., Blanc P., Corvec C., 1989. Influence des apports sur le stock de phosphore dans le lac Léman et sur l'eutrophisation, Revue sciences de l'eau Vol. 2, pp721-737.

Rodier J 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats, Paris (France), Dunod, 1384p.

Rodier J., Geoffray C., Kovacsik, Laporte J., Plissier M., Scheidhauer J., Vernaux J., Vial J., 1978. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de la mer. Chimie, Physico-chimie, Bactériologie, Biologie. Sixième édition. Dunod. Paris 1132p.

Saad M., Amuzu A. T., Biney C., Calamari D., Imevbore A.M., Naeve H., Ochumba P.B.O., 1994. Bases scientifiques du contrôle de la pollution dans les eaux intérieures Africaines. Charges organiques d'origine domestique et industrielle. FAO Rapp. Pêches, (437), *in* <http://www.fao.org/docrep/005/v3640f/V3640F03.htm>. consulté le 14/01/2009.

Semdé, I., 2005. Contribution du Burkina Faso à l'étude sur le plomb et le cadmium. MECV, 26p.

U.S. Environmental Protection Agency 1976. Office of Water Planning and Standards. Quality criteria for water. Washington, D.C., USEPA. 537 p. EPA-440/9/76-023.

SN-SOSUCO, 2003. Rapport sur les déchets de la société. 7p.

Somé K., Dembelé Y., Somé L., Millogo-Rasolodimy J., 2004. Pollution agricole des eaux dans le bassin du Nakambé: cas des réservoirs de Loumbila et de Mogtedo, 8p.

Tandia A., Gaye C. B., Faye A., 1997. Origine des teneurs élevées en nitrates dans la nappe phréatique des sables quaternaires (région de Dakar, Sénégal) », Sécheresse, 8 (4) (1997) 15p.

Tapsoba H., 2003. Evaluation de la pollution des eaux brutes de l'ONEA par les pesticides. Mém DESS. Université de Ouagadougou, 39p.

Turin A., 1991. La pollution des eaux souterraines en Lorraine, le cas des nitrates. Thèse Univ. Nancy II, France, 266p.

Vollenweider R., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Paris, Organization for Economic Co-operation and Development, Tech.Rep.DAS/CSI/68.27, 220 p.

White R. E., Dayson J. S., Haigh R. A., Jury W. A., Sposito G., 1986. A Transfer Function Model of Solute Transport Through Soil. 2 Illustrative Applications. *Water Resources Research*, 22 (2) (1986), pp248-254.

Yé L., 2007. Caractérisation des déchets urbains solides utilisables en agriculture urbaine et périurbaine: cas de Bobo-Dioulasso. Mém. DEA, IDR/UPB, 48p.

Zougouri T., Traoré Y., Nabayaogo D., 2006. Rapport technique de la campagne d'analyses des eaux usées de la ville de Bobo-Dioulasso du 24 au 28 juillet 2006. Rapport LNAE (Ouagadougou), 14p.

Annexes

Annexe 1

Normes de déversement des eaux usées dans les eaux de surface

Paramètres	Valeurs limites (mg/L ou précisées)	Paramètres	Valeurs limites (mg/L ou précisées)
Aluminium (dissous, 0,45 micron)	10	Huiles saponifiques et graisses	20
Antimoine (Sb)	0,1	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés	2
Ammoniac et ammonium	1	Hydrocarbures totaux	10
		Magnésium	200
Argent (dissous, 0,45 micron)	0,1	Manganèse	1,2
Arsenic (dissous, 0,45 micron)	0,14	Matières décantables	1/1/2 h
Baryum (dissous, 0,45 micron)	5	Matières insolubles totales	20
Bioxyde de chlore	0,05	Mercuré (dissous, 0,45 micron)	0,17
Béryllium	0,01	Molybdène	0,5
Bore (dissous, 0,45 micron)	2	Nickel (dissous, 0,45 micron)	2
Brome actif	0,1	Nitrates (NO ₃ ⁻)	50
Cadmium (dissous, 0,45 micron)	0,1	Nitrites (NO ₂ ⁻)	1
Calcium	500	Pesticides organiques chlorés	0,003
Carbone organique dissous	10	pH	6-4-10,5
Carbone organique total	65	Phénols	0,2
Chlore actif	0,05	Phosphates	5
Chlorures	600	Phosphore (total)	0,8
Chrome III (dissous, 0,45 micron)	2	Plomb (dissous, 0,45 micron)	0,5
Chrome VI (dissous, 0,45 micron)	0,1	Potassium	50
Chrome total	0,1	Salmonelles par 100 ml	aucune
Cobalt (dissous, 0,45 micron)	0,5	Sélénium	0,8
Coliformes fécaux (/100 ml)	2000	Sodium	300
Cuivre (dissous, 0,45 micron)	1	Solvants chlorés	0,1
Cyanures	0,1	Streptocoques fécaux par 100 ml	10000
Demande biologique en oxygène	50	Sulfates	600
Demande chimique en oxygène	150	Sulfures	0,2
Etain (dissous, 0,45 micron)	2	Température (°C)	18-40
Fer (dissous, 0,45 micron)	20	Titane	0,001
Fluorures	10	Zinc	5
Huiles saponifiques et graisses	20	MES	200

Source : Extrait de "Décret n° 2001-185/PRES/PM/MEE portant fixation des normes de rejets des polluants dans l'air, l'eau et le sol", Burkina-Faso, 2001 (Article 10).

Normes de déversement des eaux usées dans les égouts

Paramètres	Valeurs limites (mg/L ou précisées)	Paramètres	Valeurs limites (mg/L ou précisées)
Aluminium	20	Huiles saponifiques et graisses	100
Amines aromatiques		Hydrocarbures aliphatiques minéraux	10
Ammoniac et ammonium	150	Hydrocarbures totaux	20
		Magnésium	300
Antimoine (Sb)	0,2	Manganèse	1
Argent	1	Matières décantables	5/1/2 h
Arsenic	1	Matières solubles totales	20
Baryum	1	Matières en suspension	100
Béryllium	0,05	Mercure	0,17
Bioxyde de chlore ClO ₂	0,5	Molybdène	5
Bore	2	Nickel (Ni)	3
Brome actif	1	Nitrates NO ₃	90
Cadmium	0,5	Nitrites NO ₂	10
Calcium	0,2	Pesticides et produits similaires	0,01
Chlore actif Cl ₂	3	pH	6,4-10,5
Chlorures Cl	700	Phénols, composés phénoliques	5
Chrome III	2	Phosphore PO ou phosphore total	50
Chrome VI	0,5	Plomb	2
Cobalt	5	Potassium	50
Cuivre	2	Salmonelles par 100 ml	10 ⁵ -10 ⁸
Cyanures	1	Sélénium (Se)	1
DBO	800	Sodium	1000
DCO	2000	Solvants chlorés	0,1
Étain	5	Streptocoques fécaux/100 ml	100 l
Fer	20	Sulfates SO ₄	600
Fluorures dissous	15	Sulfures	3
Huiles saponifiques et graisses	100	Température (°C)	18-40

Source : Extrait de "Décret n° 2001-185/PRES/PM/MEE portant fixation des normes de rejets des polluants dans l'air, l'eau et le sol", Burkina-Faso, 2001 (Article 11).

Annexe 2

Teneurs limites des substances pour l'eau de boisson

Paramètres	Unité	Valeurs guides	Paramètres	Unité	Valeurs guides
Aluminium	mgAl/l	15	Magnésium	mgMg/l	50
Ammonium	mgNH ₄ ⁺ /l	15	Manganèse	mgMn/l	0,5
Arsenic	µgAs/l	10	Matières sédimentables	ml/l	5
Azote Kjeldahl	mgNk/l	10	MES 105°C	mg/l	5
Azote total	mgN/l	10	Nickel	mgNi/l	0,02
Bicarbonates	mgCaCO ₃ /l	100	Nitrates	mgNO ₃ ⁻ /l	50
Calcium	mgCa/l	100	Nitrites	mgNO ₂ ⁻ /l	3
Carbonates	mgCO ₃ ²⁻ /l	100	Ortho Phosphates	mgP ₂ O ₅ /l	5
Chlorures	mgCl/l	250	Oxygène dissous	%sat	75%
Chrome	µgCr/l	0,05	pH		6,5 - 8,5
Clostridium	U.F.C/100ml	0	Phosphore total	mgP/l	5
Cobalt	mgCo/l	1	Plomb	µgPb/l	0,01
Coliformes fécaux	U.F.C/100ml	0	Potassium	mgK/l	12
Coliformes totaux	U.F.C/100ml	0	Pseudomonas	U.F.C/100ml	0
Conductivité	µS/cm	2000	Sodium	mgNa/l	200
Cuivre	mgCu/l	2	Streptocoques	U.F.C/100ml	0
Cyanures	µgCN/l	0,07	Sulfates	mgSO ₄ ²⁻ /l	250
DBO	mgO ₂ /l	2	Sulfures	mgS ⁻ /l	0,05
DCO	mgO ₂ /l	5	Température	°C	5 - 20
Dureté totale	mgCaCO ₃ /l	50	TA	mgCaCO ₃ /l	5
Escherichia coli	U.F.C/100ml	0	TAC	mgCaCO ₃ /l	5
Essai au marbre	(pHs & Alcs)	0	Turbidité	N.T.U	5
Fer	mgFe/l	0,3	Zinc	mgZn/l	3
Germes totaux	U.F.C/ml	0	Salmonelles	U.F.C/100ml	0
Index de saturation de Langélier		0	Staphylocoques	U.F.C/100ml	0

Source : OMS, 1994