

IBEA
Institut de Biologie et d'Écologie
Appliquées
44 rue Rabelais
49008 Angers cedex 01

UNESCO
BAMAKO (Mali)

Proposition d'un système de prétraitement des effluents de teinture à Bamako (Mali)

Soutenu par

LEPINAY Gary



Rapport

Licence professionnelle - Option Gestion et
Traitement des Sols et des Eaux

Septembre 2008

M. Mama Pléa

Mme Catherine Mouneyrac

Remerciements

J'adresse mes remerciements à l'Institut de Biologie et d'Ecologie Appliquées d'Angers et plus particulièrement Mme Catherine Mouneyrac, ma tutrice, qui m'a permis de réaliser ce stage et d'avoir accès à une bibliographie.

Je remercie également l'UNESCO et spécialement Mme Emmanuelle Robert, M. Bandiougou Diawara et M. Mama Pléa, mais aussi M. Kalifa Keïta, M. Birama B. Traoré, M. Cheick Dembélé, Mme Baro Koumaré Diarra et Mme Fatou N'diaye Sylla pour m'avoir accueilli à la Faculté de Sciences et Technique de Bamako (FAST).

Je tiens aussi à remercier mon binôme, M. Arouna Dembélé, qui m'a apporté l'appui nécessaire à la réalisation de ce travail, ainsi que toutes les personnes rencontrées lors de nos recherches et de nos séances de prélèvement en teinturerie.

Table des matières

Introduction	1
1. PRESENTATION du PROJET LOIRE-NIGER.....	3
2. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES des TEINTURES	5
2.1. <i>Présentation / Formulation / Nomenclature</i>	<i>5</i>
2.2. <i>Composition chimique.....</i>	<i>6</i>
2.3. <i>Toxicité et risques.....</i>	<i>7</i>
3. PROCEDES de TEINTURE	10
3.1. <i>Historique.....</i>	<i>10</i>
3.2. <i>Modes opératoires.....</i>	<i>10</i>
4. LA TEINTURE à BAMAKO	13
4.1. <i>Impact socio-économique.....</i>	<i>13</i>
4.2. <i>Impact environnemental.....</i>	<i>14</i>
5. TRAITEMENT des EFFLUENTS	16
5.1. <i>Procédés industriels</i>	<i>16</i>
5.2. <i>Méthode de prétraitement déjà proposée à Bamako.....</i>	<i>17</i>
5.3. <i>Proposition d'amélioration de la méthode de prétraitement.....</i>	<i>19</i>
Conclusion et perspectives.....	27
Bibliographie.....	28
Annexes	29

Introduction

Le Mali est situé au coeur de l'Afrique occidentale (cf. figure 1) et demeure l'un des pays les plus pauvres du monde. Il s'étend du plein coeur du Sahara au nord, jusqu'à la limite de la zone des grandes savanes au sud [1]. Pays de 13,9 millions d'habitants, vivant en majeure partie en zone rurale, (UNESCO, 2006), le Mali a une superficie de 1.240.190 km² (deux fois et demie la France). N'ayant aucun accès à la mer, le Mali est un État enclavé dont 65 % du territoire est occupé par le désert, il partage 7.420 km de frontière avec sept Etats voisins : l'Algérie au nord, le Niger à l'est, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire et la Guinée au sud, le Sénégal et la Mauritanie à l'Ouest. Environ 1200 Km séparent Bamako des ports de Dakar ou d'Abidjan, où passe la majeure partie du trafic national. Son climat est partagé en plusieurs zones : saharienne (nord du pays), sahélienne et soudanaise.

Le Fleuve Niger qui traverse le pays, assure une irrigation des activités agricoles telles que la culture du riz, du coton, de l'arachide. L'accès à l'eau potable est très difficile et 50% des ménages en sont privés ; seulement 8% disposent d'un système d'évacuation des eaux usées (UNESCO, 2006). Afin de préserver cette ressource en eau le fleuve mérite une attention particulière.



Figure 1 : Carte du Mali Source [2]

La capitale Bamako, s'étend sur 22 Km de long et 12 Km de large. Située sur les berges du fleuve Niger, elle est divisée en 6 communes composées de quartiers. La population Bamakoise était de 1,6 millions d'habitants en 2006 ; cependant, ce nombre a dû augmenter car le rythme de croissance est très important.

La population rurale migre peu à peu vers la capitale, afin de trouver un emploi. Ce qui entraîne des crises du logement. S'ajoutent à cela des problèmes d'hygiène et de pollution car les réseaux d'eau potable sont surexploités et aucun traitement des eaux usées n'est en fonctionnement. Les activités industrielles ou artisanales comme la teinture, aujourd'hui en expansion, représentent des facteurs importants dans la pollution des eaux.

Ces différents problèmes ont intéressé l'UNESCO (l'Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture), qui a par la suite mis en place un projet visant en partie à trouver une solution de traitement des eaux de teinture afin de préserver le fleuve.

Après une présentation du projet seront exposés les résultats des analyses de teintures et la solution de prétraitement envisageable.

1. PRESENTATION DU PROJET LOIRE-NIGER

Le fleuve Niger appelé aussi Djoliba (« Le fleuve du sang ») est le troisième fleuve d'Afrique, après le Nil et le Congo, par sa longueur et la surface de son bassin (4 200 km, plus de deux millions de kilomètres carrés), il est de loin le fleuve le plus puissant d'Afrique occidentale ; il traverse quatre pays. Il prend sa source à 800 m d'altitude, sur le versant nord de la Dorsale guinéenne. Il coule vers le nord-est et se présente comme un torrent de montagne sur 250 km, jusqu'à son confluent avec le Milo. Son débit est de 6000m³/s.

Le fleuve Niger présente des possibilités d'exploitation mais son aménagement n'assure pas une rentabilité, car la plupart des régions qu'il traverse sont peu peuplées et éloignées des centres actifs de l'Afrique occidentale. Aussi, la majeure partie de son bassin hydrographique est située en zone saharienne [3].

L'UNESCO est née le 16 novembre 1945. Cette agence spécialisée des Nations Unies a pour objectif de construire la paix dans l'esprit des hommes à travers l'éducation, la science, la culture et la communication [4]. Ses principales missions portent sur l'éducation, la prévention du sida, les enseignements supérieurs et la formation des enseignants.

Après la création du « Département Afrique », l'UNESCO met en place un projet intitulé « Loire-Niger : Gouvernance et Culture » qui a pour objectif de renforcer la gouvernance de l'eau à travers la mise en réseau des collectivités locales riveraines et l'appropriation des ressources culturelles, tout en sensibilisant la population à la protection du fleuve Niger. Viendront s'associer plusieurs partenaires tels que l'Agence de Bassin du Fleuve Niger (ABFN), la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH), la Direction Nationale du patrimoine Culturel (DNPC), la Direction nationale des Collectivités Territoriales (DNCT) et l'Université de Bamako (Faculté des Sciences et Techniques).

Dans ce projet, 4 villes sont concernées : Bamako, Ségou, Mopti, Djenné. Les objectifs principaux sont les suivants:

- Améliorer la connaissance du fleuve en effectuant un recensement du patrimoine et des usagers, et en mesurant l'impact des activités économiques sur le fleuve tels que la pêche, l'agriculture, l'élevage et la construction.

- Développer et animer le réseau des collectivités locales riveraines du fleuve (communes, régions et cercles).
- Renforcer l'offre de formation à l'attention des collectivités locales.
- Réaliser des opérations démonstratives de gestion de l'eau et de l'assainissement dans quatre sites pilotes (communes urbaines de Mopti et Djenné, district de Bamako, commune urbaine de Ségou).
- Diffuser la connaissance du fleuve à travers des actions pédagogiques et de sensibilisation : production de guides, réalisation de bandes dessinées, de sketches, diffusion de messages radio, exposition photographique, (UNESCO, 2006).

Afin de limiter les pollutions dues au rejet des activités de teinture, il est en projet de réaliser à Bamako un regroupement de ces teintureries qui faciliterait l'aménagement d'un système de prétraitement pour éviter un rejet brut des eaux usées dans le fleuve. Parallèlement à cela, des actions de sensibilisation seront effectuées avec, pour thème, les risques que représente l'utilisation de produits chimiques pour la santé et l'environnement.

La partie analytique du projet se déroulera dans les laboratoires de la faculté des Sciences et Techniques (dépendant de l'Université de Bamako).

2. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES TEINTURES

2.1. Présentation / Formulation / Nomenclature

La teinture se présente sous forme de poudre, de couleur différente selon la coloration voulue (jaune, vert, bleu...), elle est contenue dans de petits sacs. A la réception des sachets de colorants, aucune indication n'est portée dessus, qu'il s'agisse de la provenance, du fournisseur ou de la composition des teintures, il n'existe pas non plus de facture entre le vendeur et l'acheteur. Aucune indication sur le nom commercial des teintures ne figure.

Cependant, suite à l'interrogation d'un teinturier nous avons appris que les teintures provenaient probablement de : la Chine (qualité médiocre), le Nigeria (qualité médiocre), la Malaisie (qualité moyenne voire médiocre) et l'Allemagne (bonne qualité).

Les teintures provenant de Chine restent les plus utilisées car elles sont bon marché.

Suite à des recherches bibliographiques à la Direction Nationale de l'Assainissement de Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN), nous avons obtenu une fiche technique de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), qui vend les teintures au Mali.

Ainsi, nous avons pris connaissance du nom porté aux différents colorants et produits que fabriquait l'entreprise GTZ :

- Acide acétique
- Rucogal Ene
- Verolan NBX
- Rucogen WBL
- L'I.C de base jaune 28, acide acétique
- L'I.C de base violet 16, phosphate
- L'I.C direct Orange 40
- L'I.C réactif Noir 5
- L'I.C de base vert 4
- Phénylméthane
- 2-Naphthol
- Soude à l'alcool (Soude caustique)

- Essence blanche (White-spirit) - Solvant Stoddard
- Acide citrique

Ces produits ne seront pas forcément présents dans le produit final (teinture en poudre), mais participent à leur élaboration, ils joueront le rôle d'acteur dans les réactions chimiques. En effet, certains réactifs catalysent les réactions de liaison ou de coagulation entre éléments chimiques et seront évacués en fin de production.

2.2. Composition chimique

Il existe plusieurs types de produits de teintures : les colorants naturels et les colorants synthétiques, mais aujourd'hui les teintures utilisées sont synthétiques et elles comportent un certain nombre de produits chimiques, non biodégradable. Seulement, ces produits sont très variables, selon la qualité ou l'origine des teintures.

Lors de mes recherches, j'ai retrouvé la composition chimique des teintures :

- Eau
- Sel (NaCl)
- Potasse (KOH)
- Acide Chloroacétique
- Tributylphosphates
- Di(2-ethylhexyl) phtalate (DEHP)
- Tétrachloroacéthylène
- Métaux (Cuivre ; Zinc ; Chrome ; Nickel ; Plomb ; Arsenic ; Cadmium ; Mercure)

Afin de déterminer la composition des teintures, plusieurs analyses doivent être réalisées. Cependant, certaines substances ne peuvent être recherchées car elles demandent des techniques d'analyses évoluées, et nécessitent des appareils de mesure que la faculté de Sciences de Bamako ne dispose pas.

La recherche des métaux étant réalisable, des analyses par spectrométrie atomique de flamme ont été effectuées.

Nous avons estimé la composition en métaux (plomb et cuivre présumés en plus grande quantité) d'un échantillon d'effluent de teinture prélevé le jour même :

- Composition en Plomb : 1,494mg/L
- Composition en Cuivre : 0 mg/L

D'après ces résultats aucune concentration en cuivre n'a été détectée, il faut souligner que cette technique ne me permet pas d'aller en dessous d'une certaine valeur. Pour aller au-delà de cette limite de détection, il faudrait utiliser la technique de spectrométrie d'absorption atomique de four de graphite, plus précise, qui analyse les solutions, les boues liquides et les échantillons à l'état solide. Tandis que la spectrométrie d'absorption atomique de flamme analyse seulement les solutions.

Ces recherches n'ont pas été poursuivies car les métaux ne sont pas ou peu contenus dans les teintures et ces analyses représentent un coût pour la faculté de sciences. Pour cela nous avons orienté nos analyses vers la mesure du pH, la conductivité, la DCO, la DBO₅, les matières en suspension. Ces résultats sont présentés dans la partie proposition d'amélioration de prétraitement.

2.3. Toxicité et risques

Les colorants existent sous différentes formes, donc présentent des dangers différents, selon leur toxicité lors de leur utilisation :

- Solide ou boulettes (risque faible)
- Solide en granulés ou cristaux (risque moyen)
- Solide en poudre (risque élevé)
- Liquide, chauffé entre 100°C à 130°C (risque moyen)

Il faut préciser que l'utilisation de colorants par les teinturières se fait souvent en l'absence de protection. La température de certaines préparations colorées oblige cependant les teinturières à porter des gants, mais rares sont celles qui portent des masques. Elles inhalent donc les fumées produites. De plus, beaucoup de résidus de produits de teintures sont répandus sur le sol et les femmes se déplacent parfois pieds nus.

Il faut savoir que la composition des teintures comporte en grande partie des produits corrosifs. De plus, certains produits tels que la soude sont ajoutés lors des opérations de teinture.

En général, les risques pour la santé que peuvent engendrer les produits de teinture lors de leur utilisation se manifestent ainsi :

- Pour les yeux : irritation cutanée modérée
- Pour la peau : irritation cutanée légère - nocif en cas d'absorption par la peau.
- Ingestion : nocif par ingestion – possibilité d'irritation du tractus digestif.
- Inhalation : nocif par inhalation - peut être fatale - irritation des voies respiratoires possible.
- Effet chronique : l'exposition prolongée ou répétée peut causer des lésions oculaires permanentes.

D'après les éléments susceptibles d'être retrouvés dans les teintures, les risques associés suivants peuvent être cités :

Produit	Risque
NaCl	Corrosif pour la peau
KOH	Corrosif pour la peau
Acide Chloroacétique	Inflammable, et émission de fumées toxiques lors de son chauffage. Corrosif pour la peau et les yeux. Irritation et corrosion: peau, yeux, voies respiratoires, voies digestives; si ingéré: brûlures de la bouche, vomissements, perforation possible de l'estomac, péritonite, choc, atteinte métabolique; dépression du système nerveux central, dépression respiratoire. Effet chronique : Dysfonctionnement du foie et des reins.
Tributylphosphate	Emission de fumées toxiques lors de son chauffage. Peut irriter la peau en cas de contact prolongé.

Proposition d'un système de prétraitement des effluents de teinture à Bamako

DEHP	Inflammable lors de son chauffage. Irritation de la peau, des yeux et des muqueuses. Effet chronique : Hypertrophie des reins et du foie, atteinte de la glande thyroïde.
Tétrachloroacétylène	Inflammable lors de son chauffage. Irritation de la peau, des yeux et des muqueuses
Plomb, Cuivre, Zinc	Evolution en maladie du Saturnisme (Plomb). Déficiences hématologiques, neurologiques et rénales.
Nickel	Risque de brûlure. Cancérogène.
Arsenic	Cancérogène si exposition prolongée.
Cadmium	Risque de brûlures. Cancérogène et mutagène
Mercure	Se lie dans l'organisme aux molécules constituant la cellule vivante (acides nucléiques, protéines...) modifiant leur structure ou inhibant leurs activités biologiques.

Ces risques ne sont malheureusement pas connus des teinturières, et celles-ci ne constatent que les effets immédiats, tels que les mauvaises odeurs, les fumées entraînant une toux importante ou des picotements oculaires. Une étude sous forme de questionnaire, réalisée par Aurélie Hélias étudiante en Master 1 Environnement, a montré que certains teinturiers préconisent l'utilisation de masque, blouse, lunettes de protection, gants pour éviter ces effets néfastes. Cependant, le manque de moyens ne permet pas à chaque teinturière d'acquiescer ces éléments de protection.

3. PROCEDES DE TEINTURE

3.1. Historique

Les vêtements traditionnels, tels que le Bazin, portés au Mali sont fabriqués à partir de fibres textiles (en majeure partie du coton) puis colorés à l'aide de différentes teintures qui leur donneront leur couleur définitive. Ces teintures sont élaborées à partir de différents pigments, substances minérales, organiques, ou synthétiques se présentant généralement sous forme de poudre.

Les débuts de la teinture des textiles sont mal connus, mais remontent à l'époque de l'empire du Ghana (8^{ème}-11^{ème} siècle). Les premiers teinturiers ont sûrement essayé d'imiter les couleurs de la nature avec de l'argile (le Bogolan), des fleurs, des baies et des racines présentant les teintes désirées. Découvrant l'existence de colorants dans d'autres parties des plantes, puis de substances pouvant aider à fixer les couleurs, ils ont mis au point l'extraction et la concentration des sucres utilisables en teinture.

Actuellement, les colorants employés pour la teinture des textiles sont presque exclusivement des produits chimiques.

Le grand intérêt des colorants synthétiques est qu'il est possible, à partir des couleurs primaires, d'obtenir une gamme très étendue de coloris. De plus ces colorants ont une capacité fixatrice sur les tissus, plus importante que les colorants naturels.

Cependant, la teinture constitue une source majeure de pollution de l'environnement, et les multiples récepteurs de ces effluents (puits, fleuve...) en sont très affectés.

Même si les hommes interviennent dans la réalisation des motifs sur les tissus, il s'agit d'une activité pratiquée en majeure partie par des femmes, représentant 85% des employés.

3.2. Modes opératoires

La teinture d'un tissu s'obtient en effectuant quelques étapes au préalable. Les teinturiers réalisent des motifs en tamponnant le Bazin de cire de bougie, ou en effectuant de petits nœuds avec de la ficelle (appelés aussi Plangi).

Afin d'obtenir une teinture de qualité, le colorant doit être réparti le plus régulièrement possible sur les fibres. L'immersion des textiles dans un bain où est dissout le colorant est le procédé traditionnel, utilisé dans l'industrie et dans l'artisanat (cf. figure 2).



Source Gary Lépinay

Figure 2 : Bassine de mélange des colorants

Pour que les principes colorants se fixent aux fibres, ils doivent subir une attraction que l'on nomme l'affinité. Cette affinité est accrue par l'addition de produits chimiques tels que sels alcalins, réducteurs (Hydrosulfite de soude) ou sulfure de carbone. Les températures élevées et les bains prolongés favorisent l'imprégnation en profondeur des fibres textiles, les teintures à froid donnant souvent de médiocres résultats. Cette étape permet aussi à la cire de fondre et de l'évacuer par la suite.

Les tissus sont ensuite lavés à l'eau froide et étendus au soleil, pour être séchés (cf. figure 3). Afin d'obtenir un Bazin brillant, celui-ci est recouvert de pâte d'amidon et battu à l'aide de gourdins en bois.



Source Gary Lépinay

Figure 3: Tissus (Bazin) à l'étape de séchage

Le mélange des colorants reste une technique propre à chaque teinturerie, et varie de l'une à l'autre. Suite à la rencontre du teinturier Mamadou Diarra (dit Ladj), nous avons pu prendre connaissance des mélanges de couleurs effectués (ANNEXE 1).

4. LA TEINTURE A BAMAKO

4.1. Impact socio-économique

Le chômage sévissant fortement à Bamako, l'activité de teinture constitue une activité possible. De plus, la plupart des femmes ont arrêté les études au primaire. Aussi, toute femme malienne est une teinturière potentielle car elle a forcément affaire dans sa vie à la teinture, soit directement en l'exerçant même de manière épisodique ou indirectement en portant du Bazin comme tenue de parure. L'art de la teinture se transmet de mère en fille, et très jeunes, elles participent à la coloration des tissus.

Au cours de mes rencontres, il m'est arrivé d'interroger plusieurs Bamakois sur leur conditions de travail et certains ont répondu qu'en plus de leur métier, ils effectuaient le rôle de teinturiers le soir ou le week-end, ce qui constitue pour eux une source de revenus non négligeable.

De fait, cette activité est à mettre en valeur car elle présente des potentialités en matière de création d'emploi, ce qui suppose que l'Etat doit organiser cette activité artisanale, voire la professionnaliser.

Le monde de la teinture est très hétérogène et il est scindé en deux univers :

- Le premier groupe est composé des teinturières pauvres et qui n'ont que le bord du fleuve pour exercer leur activité. Elles rejettent donc leurs effluents directement dans le fleuve Niger.
- Le deuxième groupe est constitué des teinturières qui exercent chez elles où nous retrouvons les plus fortunées qui font des investissements plus importants et qui ont souvent des débouchés à l'étranger. Dans ce second groupe, nous retrouvons aussi les hommes qui pratiquent la teinture. Le rejet des effluents se fait donc dans les caniveaux ou les marigots (cf. figure 4).



Source Gary Lépinay

Figure 4: écoulement des teintures dans un caniveau

4.2. Impact environnemental

A Bamako, il n'existe pas de station d'épuration en fonctionnement et la seule station construite correspond à une zone de lagunage plantée de roseaux.

Les égouts et les marigots surchargés de déchets se déversent dans le fleuve. Le premier écosystème touché est donc le fleuve Niger. En plus des colorants, d'autres produits interviennent dans la teinture des tissus, tels que la soude caustique, l'hydrosulfite, l'amidon, et la paraffine. Ceux-ci se retrouvent donc dans les effluents, pouvant avoir de graves répercussions sur l'environnement :

- Impact sur l'eau tel que les puits, les eaux de surface et les nappes phréatiques (rivières, fleuve, lac, étang, marécage...).
- Changement de la quantité d'eau disponible pour divers utilisateurs (projets, population, faune et flore, autres activités économiques).
- Modification de la qualité de l'eau par contamination par les polluants chimiques, les matières en suspension, le rejet des terres de déblayage dans l'eau.
- Altération de la nappe phréatique par infiltration des eaux résiduaires.
- Interaction de l'eau de la nappe avec le drainage de surface.
- Changement des caractéristiques de drainage des eaux de surface.

- Prolifération des polluants par réduction de la capacité d'autoépuration des lacs et des nappes en période d'étiage.
- Eutrophisation du fleuve, lacs et étangs.

L'évaluation des effluents rejetés est très difficile à obtenir car les résultats sont très aléatoires, et personne n'est capable de donner précisément la quantité d'eau utilisée.

Afin d'évaluer l'impact environnemental que l'activité de teinture représente, je me suis basé sur l'étude faite par Aurélie Hélias et les entretiens qu'elle a pu avoir avec plusieurs teinturières. Cette recherche qui prend en compte le volume d'eau utile pour teindre un coupon de tissu (7,29 L) et le nombre moyen de tissu produit par un employé (17), a conclu qu'en moyenne 124 L d'effluents étaient rejetés par jour et par employé.

Il faudrait connaître aujourd'hui le nombre d'employés de teinturerie à Bamako pour évaluer la quantité d'effluent rejetée par les teintureries par jour.

Nous savons qu'en 2006, d'après DIARRA M. S., 2006, le volume de déchets liquides rejetés par les teintureries était de 16 000 m³/an, et qu'en 2008 il était de 360 000 m³ [5]. Nous pouvons donc en déduire, en estimant que chaque atelier produit environ 300 L/ j de déchets, que le nombre de teinturiers serait d'environ 3000 (ce chiffre était estimé à 150 en 1994). Cependant, l'activité étant en plein essor, ce chiffre a probablement augmenté.

5. TRAITEMENT des EFFLUENTS

5.1. Procédés industriels

Bien que Bamako ne dispose d'aucun système de prétraitement en sortie d'usine, des projets ont déjà été émis et la réalisation d'une station d'épuration par filtres plantés de roseaux a été établie, mais elle n'est aujourd'hui pas encore en fonctionnement.

Différents procédés industriels de prétraitement des eaux usées réalisables :

- Procédés de boues activées :

Ce procédé a plusieurs objectifs : l'élimination de la pollution carbonée (matière organique), élimination de la pollution azotée, élimination biologique du phosphore, stabilisation des boues (procédé d'aération prolongée ou digestion aérobie).

Les eaux usées sont mises en contact avec un mélange riche en bactéries par brassage afin de dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération. Ces phases sont en fait une intensification de ce qui se passe dans le milieu naturel. La technique des boues activées est appropriée pour des eaux usées domestiques d'agglomérations à partir d'environ 1000 habitants jusqu'aux plus grandes villes. Elle existe néanmoins pour des installations individuelles, quoique le procédé ne soit pas assez éprouvé. Les effluents industriels ou agroalimentaires sont très variables et peuvent selon les cas être traités par ce processus, avec souvent une adaptation à leur nature et à leurs caractéristiques.

- Procédés de filtres plantés et lagunage

Ces types de procédés reproduisent des phénomènes naturels présents dans certains sols organiques et plus particulièrement dans les marais. En effet, le processus épuratoire est une combinaison de phénomènes physiques (filtration, décantation...), chimiques (précipitation, oxydoréduction, adsorption...) et biologiques (métabolisation) liés au substrat, aux microorganismes du sol et aux plantes.

La qualité de la filtration dépend de plusieurs éléments tels que :

- La nature du végétal utilisé (macrophytes flottants, enracinés, ou mixtes).
- Le type de flux (vertical ou horizontal).
- Le régime d'écoulement (banchées, continu, en saturation ou en percolation).

Ainsi, plusieurs types d'installations sont réalisables :

- Les lits plantés de macrophytes à percolation verticale
- Les lits plantés de macrophytes à écoulement horizontal superficiel qui s'apparentent à des lagunes avec une tranche d'eau libre d'environ 40cm.
- Les filtres plantés de macrophytes à écoulement horizontal sous la surface.

5.2. Méthode de prétraitement déjà proposée à Bamako

Suite aux problèmes environnementaux que provoque le domaine de la teinturerie, le Dr Mamadou Sanata DIARRA s'est intéressé à la création d'un dispositif de prétraitement des eaux usées qui serait installé à chaque teinturerie.

Le premier dispositif imaginé, d'une capacité de 100L, est composé de demi-fûts divisés en trois compartiments séparés par des cloisons métalliques perforées (trous de 10 mm de diamètre) pour le passage de l'effluent et permettre le dépôt des matières en suspension au fond des fûts. Son principe permet aussi une évaporation de l'effluent grâce au soleil. On récupère ainsi les boues obtenues (cf. figure 5).

Le second système est identique mais une aération préalable est faite par simple écoulement de l'effluent.

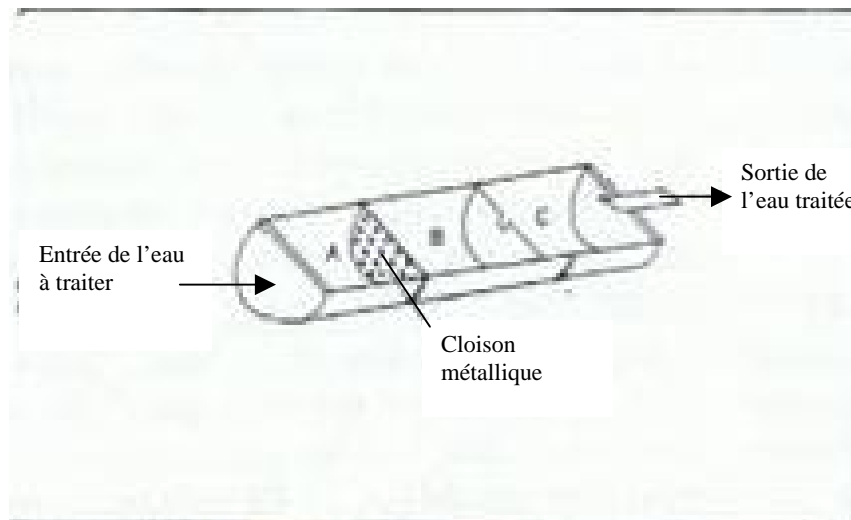


Figure 5 : Schéma du dispositif horizontal

Afin d'obtenir de bons résultats de traitement avec le premier dispositif, à la sortie, l'eau sera conduite sur une colonne verticale comprenant un filtre à sable (cf. figure 6).

La colonne verticale comprend une couche de sable de 150 cm puis une sous-couche de gravier de 20 cm. L'arrivée de l'eau à traiter se fait en amont du dispositif, puis l'eau filtrée est évacuée en aval (DIARRA M. S., 1996).

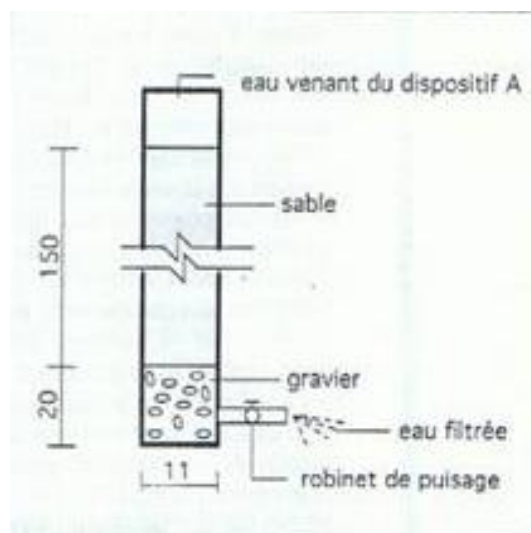


Figure 6 : Schéma du filtre à sable vertical

Suite à cela des analyses de pH, de DCO et de conductivité ont été effectuées donnant les résultats suivants :

Effluent à analyser	Paramètres d'analyse		
	pH	DCO (mg/L)	Conductivité μs/cm
Eau brute	12	6250	40600
Eau A (eau à la sortie du dispositif n°1)	10,3	6000	30200
Eau B (eau à la sortie du dispositif n°2)	10,2	4500	26500
Eau filtrée (eau du dispositif n°1 après le filtre)	9,5	3500	22600

Après lecture de ces résultats, nous pouvons constater que l'aération de l'effluent et son passage sur un lit de sable permet d'obtenir de meilleurs taux de traitement, notamment par rapport à la DCO et à la conductivité. Nous observons aussi une légère diminution du pH auparavant très basique.

Il faudra cependant poursuivre l'étude afin d'obtenir une réelle amélioration, ce qu'il sera fait dans la partie « Proposition d'amélioration de la méthode de prétraitement » ci-après.

5.3. Proposition d'amélioration de la méthode de prétraitement

Le travail suivant consiste à reprendre le système de prétraitement élaboré par Mamadou S. DIARRA et l'améliorer par la suite. Pour cela nous avons reproduit le même système avec une colonne verticale (cf. figure 7). Nous y avons déposé une couche de sable de 40 cm et une couche de gravier de 20 cm. Après nettoyage du contenu de la colonne, nous y avons introduit l'effluent à traiter, puis nous avons recueilli le filtrat.

Avant ce prétraitement nous avons réalisé une série d'analyses de l'effluent à traiter, telles que : la mesure du pH, la conductivité, les matières en suspension (MES), la DCO et la DBO₅. Ensuite nous avons réalisé ces mêmes analyses avec le filtrat recueilli en fin de prétraitement.



source Gary Lépinay

Figure 7: Colonne de prétraitement utilisée en laboratoire

Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont recherchées dans l'eau car elles favorisent la réduction de la luminosité et diminuent ainsi la production biologique par une chute de l'oxygène dissous et une réduction des phénomènes de photosynthèse.

Le pH

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

La Conductivité

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

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en terme de conductivité équivalente à 20 ou 25°C.

Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est simple et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau.

Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

La Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre.

La DBO

La DBO (demande biochimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement de micro-organismes, dans des conditions données. Les conditions communément utilisées sont 5 j (on ne peut donc avoir qu'une dégradation partielle) à 20°C, à l'abri de la lumière et de l'air ; on parle alors de la DBO₅. Cette mesure est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradables. Elle est exprimée en mg de O₂ consommé. Elle se réalisera dans des flacons prévus à cet effet, appelés oxymètres (cf. ANNEXE 2).

La DCO

La DCO (demande chimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium.

Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (certains hydrocarbures ne sont, par exemple, pas oxydés dans ces conditions).

RESULTATS

Echantillon d'effluent de teinture effectué au niveau d'un puisard (le 15/06/2008). La quantité d'échantillon prélevé est de 5L.

Prétraitement sur colonne de sable et de gravier

Paramètres	Avant traitement	Après traitement	Taux d'abattement (%)	Observations
pH	13,3	13,3	0	A améliorer par ajout de flocculant ou d'adsorbant
Conductivité (µS/cm)	97,2	83,9	13,68	
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	380	450	?	
DCO (mg/L de O ₂)	29039,30	25983,00	10,52	
MES (g/L)	18,43	06,385	65,35	

Suite à cela nous avons effectué une série de traitements sur colonne de sable et de gravier en y incorporant le procédé de floculation à l'aide de sulfate d'aluminium et de chaux, toujours dans le but d'obtenir de meilleurs résultats.

ESSAIS DE FLOCCULATION

Réactifs avant traitement

Paramètres	Sulfate 50g/L	Chaux 50g/L	S/C : 1/1	S/C : 1/2	S/C : 1/4	S/C : 1/8	Effluent
Conductivité	9.71mS	7.12mS	5.74 mS	4.35 mS	3.56 mS	3.09 mS	1817µS/cm
Turbidité	0.00 NTU*	708 NTU	-	-	-	-	-
pH	3.47	12.29	-	-	-	-	-

*NTU, (nephelometric turbidity unit) : Il s'agit de l'unité standard de mesure de la turbidité.

Les prochaines floculations seront faites à l'aide de sulfate, de chaux et de mélange sulfate-chaux.

Effluents dilués au 1/50^{ème} volume total de réactif : 48mL volume de solution 800mL

Paramètres	Sulfate 50g/L	Chaux 50g/L	S/C : 1/1	S/C : 1/2	S/C : 1/4	S/C : 1/8	Effluent
Turbidité(NTU)	4.64	77	0.89	17.07	10	84	140
Conductivité (µS/cm)	1960	1224	1591	1479	1468	1259	1537
pH	3.88	9.44	4.21	7.81	8.64	9.09	11.32
MES (g/L)	06,732	07,103	06,602	06,561	06,458	06,585	17,58
DBO5	-	-	110	120	120	-	180
DCO	-	-	162,56	187,19	350,60	-	330,05

Calcul des taux d'abattement :

Effluent traité	Sulfate 50g/L	Chaux 50g/L	S/C : 1/1	S/C : 1/2	S/C : 1/4	S/C : 1/8
Taux en %						
Turbidité	96 ,68	45	99,36	87,81	92,86	40
Conductivité	-	20,36	-	3,77	4,49	18,09
pH	65,72	16.61	62,81	31,00	23,67	19,70
MES	61,71	59,60	62,45	62,68	63,26	62,54
DBO5	-	-	38,89	33,33	33,33	-
DCO	-	-	50,75	43,28	-	-

Commentaires :

Après un temps de séjour de 24 heures, les meilleurs taux d'abattement sont obtenus avec le mélange sulfate-chaux dans le rapport : volume sulfate /volume chaux égale à 1/2 ou 1/4 pour des concentrations respectives de 50 g/L et 100 g/L. Nous avons effectué les mélanges de sorte que la proportion du réactif le moins cher et le moins toxique soit la plus élevée. De plus, la fourchette de pH entre 7,81 et 8,64 est la mieux indiquée pour un rejet dans les cours d'eaux.

Afin de proposer de meilleures techniques de prétraitement nous avons décidé d'effectuer des traitements avec le charbon et l'argile susceptibles d'avoir des propriétés de rétention des polluants.

TRAITEMENT AU CHARBON ET ARGILE (BENTONITE)

Paramètres	Avant traitement	Après traitement		Taux d'abattement (%)	
		Argile	Charbon	Argile	Charbon
turbidité	140	99	74	29,29	47,14
pH	11.32	9,08	9,34	19,79	17,49
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1537	1460	1370	5,01	10,87
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	180	20	20	88,89	88,89
DCO (mg/L de O ₂)	330,05	241,86	227,90	26,82	31,04
MES (g/L)	17,58	17,12	17,15	2,62	2,45

En observant ces différents taux d'abattement, nous pouvons remarquer que même si ces adsorbants n'éliminent pas efficacement la pollution particulaire à des concentrations élevées, ils peuvent cependant contribuer à un abattement plus important en les associant sous forme granulaire à un lit de sable en fin de traitement.

Remarque :

Nous pouvons observer que certains résultats sont absents, ils découlent des conditions de travail du laboratoire. En effet, la faculté subit souvent des interruptions de courant, pénalisant ou retardant les analyses, et donnant de faux résultats. D'autre part, en raison d'un manque de moyens, le laboratoire dispose de peu de produits et de consommables, ce qui a une conséquence non négligeable sur la qualité des résultats.

Après ces analyses, nous avons pris en compte les points devant être améliorés et les différentes étapes pour un traitement des effluents efficace. Il en est ressorti un schéma d'un système pouvant être adapté pour les teintureriers (cf. figure 8).

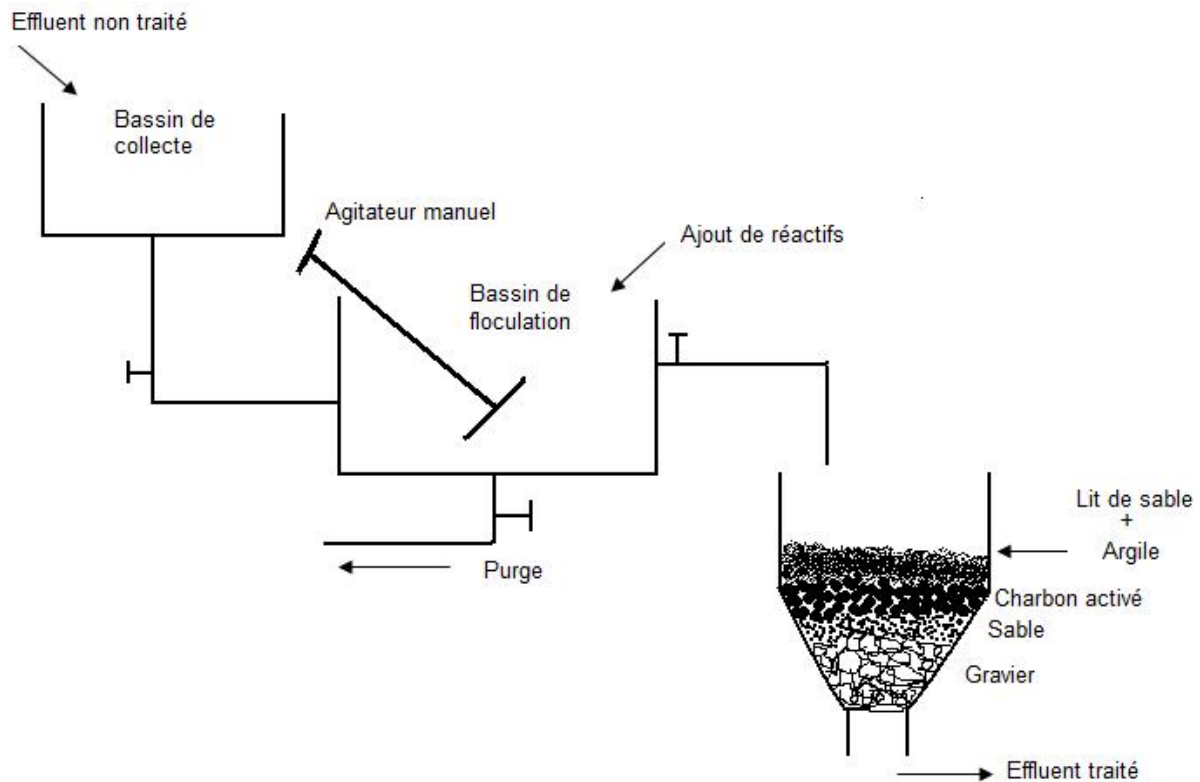


Figure 8 : Schéma du futur dispositif

Conclusion et perspectives

L'activité de teinture se développant de manière constante, celle-ci représente au Mali plusieurs aspects positifs, tels que l'exportation de tissu et la création d'emplois.

En contrepartie, cette activité génère une quantité d'effluents chimiques ayant des répercussions sur la santé et l'environnement. Déjà, plusieurs puits contenant une eau impropre à la consommation ont été condamnés car, après percolation du sol, des produits de teintures ont été retrouvés dans l'eau.

Ne possédant aucun système de traitement de l'eau, la ville de Bamako risque de voir son état sanitaire et environnemental s'aggraver.

Malgré le fait qu'existent quelques chocs culturels, problèmes financiers, soucis de confidentialité des modes opératoires ou de coût, le projet Loire-Niger intervient favorablement à la qualité de vie de la population, en préconisant un regroupement des teintureries et en mettant au point un système de prétraitement des eaux usées à la sortie de chaque teinturerie qui éviterait tout rejet direct dans le fleuve.

Il serait intéressant de sensibiliser la population face à la collecte des déchets et d'empêcher que les fossés et caniveaux soient le réceptacle de toutes sortes d'ordures, se retrouvant tôt ou tard dans le fleuve. Ainsi, cela contribuait en partie à la sauvegarde du fleuve.

Il est donc impératif pour la ville de Bamako de mettre en fonctionnement une station d'épuration efficace, ainsi qu'un réseau d'assainissement pour assurer une hygiène de vie à ses habitants, et à travers cela préserver les réserves en eau potable.

Bibliographie

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH 1999. *Manuel de Gestion des Produits Chimiques « Améliorer la gestion des produits chimiques pour réduire les coûts, minimiser les risques et améliorer la sécurité.*

UNESCO, 2006. *Facilité ACP-UE pour l'eau actions dans les pays ACP, Annexe A1.* Paris, 33p.

HELIAS, Aurélie. 2008. Rapport Master1 *Teinturière, traitement des rejets*

BAO, Ibrahima. Socio anthropologue : informations obtenues après discussion sur son étude en cours.

KEÏTA, Kalifa : rapport d'activité en cours sur les traitements de l'eau

DIARRA, Mamadou Sanata. 1996. *Un dispositif de traitement efficace des eaux de teinturerie à Bamako. Info CREPA, N°11, p.4-5*

[1] France-diplomatie. *Présentation du Mali.* [En ligne].
<http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/pays-zones-geo_833/mali_350/presentation-du-mali_996/geographie_8698.html> (Page consultée le 21 avril 2008)

[2] Expatries.senat.fr. *Mali.* [En ligne]. <<http://www.expatries.senat.fr/pays/mali.html>> (Page consultée le 21 avril 2008)

[3] Universalis.fr. *Fleuve Niger.* [En ligne].
<http://www.universalis.fr/encyclopedie/N130091/NIGER_fleuve.htm> (Page consultée le 10 mai 2008).

[4] UNESCO.org. *Unesco en bref.* [En ligne]. <http://portal.unesco.org/fr/ev.php-URL_ID=3328&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html> (Page consulté le 21 avril 2008)

[5] DIA, C. A., 2008. *Déchets liquides : la grande menace. L'essor*, N°16139. [En ligne].
<http://www.essor.gov.ml/cgi-bin/view_article.pl?id=18017> (Page consulté le 30 mai 2008)

[6] Analyse physico-chimique. *Présentation.* [En ligne]
<http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm> (page consultée le 30 mai 2008)

Annexes

ANNEXE 1

COMPOSITION des MELANGES de COULEURS

Les informations ci-dessous sont reprises telles qu'elles figurent dans le document existant.

Saumon (rose clair) : Ecarlate plus un peu de jaune

Avocat Clair : Jaune plus un peu de bleu

Avocat foncé : jaune plus un peu de bleu plus une pincée de marron

Roise : un peu de Riby

Chicome claire : rose clair

Violet бага (bleu pétrole) : ajout de bleu dans l'eau

Rouge marron : rouge bordeaux plus marron

Rouge mélange : rouge en poudre plus rouge en graine plus riby plus violet

Violet foncé : ajout de violet dans l'eau

Bleu foncé : bleu français en quantité

Bleu pétrole : ajout de violet

Bleu foncé : bleu mitterand = bleu plus ancle

Vert fumé : Vert plus gris

Vert mélange : vert plus jaune plus marron

Vert turquoise : vert plus un peu de bleu

Gris vert clair : vert plus un peu de gris

Couleur d'homme gris sombre : vert plus jaune plus marron

Moutarde : jaune plus marron

Woroniaka foncé : rouge Bordeaux plus un peu de violet

Fuschia foncé : Woulon djelini = fuschia plus violet

Tigadékéni : jaune plus marron plus Woronika

Aubergine : Fuschia plus violet (ou violet plus marron plus Riby)

Noir : gris plus du N'touiny

Ancle : une peu d'angle seulement

Baka clair : un peu de bleu dans cette eau froide plus Barika Tigui poudre (détergent type lessive)

Violet baka : baka plus violet

Souraka baka : baka seulement plus du cuivre en quantité

Bris Baka : Bleu plus un peu de violet

Laifarani : Fuschia plus riby plus un peu de marron

Orange : Jaune plus écarlate un peu

Rouge violet : Rouge Bordeaux plus Riby

Jaune or : jaune Riby plus un peu de marron (ou orange plus jaune)

Siramougouni : marron plus jaune

Vert claire : vert plus jaune (ou vert plus un peu de gris)

Couleur homme : fuschia plus marron

Couleur mauve : Fuschia plus riby plus un peu de marron plus un peu de violet

Fuschia : ancle claire

Belle couleur : écarlate plus un peu de jaune (ou riby plus jaune plus un peu de marron, ou écarlate plus jaune plus du violet)

Corrigé : vert plus jaune plus un peu de marron

Violet mauve : un peu de violet

Vert foncé : vert plus marron

Chicome : un peu rose : riby

Jaune Kliness : jaune plus un peu de vert

Gris vert : un peu de gris et un peu de vert

Gris violet : violet plus un peu de gris

Gris bleuté : marron plus Woro

Café claire : marron plus Woro

FICHE TECHNIQUE du MODE OPERATOIRE pour la REALISATION de la DCO

DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE (DCO)

(Méthode par le dichromate de potassium)

Principe :

En milieu acide sulfurique et en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure, certaines matières contenues dans l'eau (les dérivés aromatiques échappant à cette action) sont oxydées par un excès de dichromate de potassium. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer(II) et d'ammonium (sel de Mohr).

Réactifs :

- catalyseur : sulfate de mercure et sulfate d'argent.
- Solution de sulfate de fer(II) et d'ammonium 0,0125N (0,0125 mol/L) + 20mL de H₂SO₄ concentré :
 - sulfate de fer II et d'ammonium.....4,90g
 - eau distilléeqsp.....1000mL
 - acide sulfurique concentré(d = 1,84)20mL.
- solution de dichromate de potassium 0,25N (0,0417mol/L) :
 - dichromate de potassium (séché pendant deux heures à 105 – 110°C).....12,25g
 - eau distilléeqsp.....1000mL
- solution de ferroïne (indicateur) :
 - 1-10- phénanthroline.....1,485g
 - sulfate de fer0,695g
 - eau distillée.....qsp.....100mL

Dissoudre la phénanthroline et le sulfate de fer dans de l'eau et compléter le volume.

Mode Opérateur

Echantillon :

1 spatule catalyseur (en 0,1g de HgSO₄)
2cm³ de H₂SO₄ concentré (il s'agit d'une solution de H₂SO₄ concentrée préparée comme suit : 100mL de H₂SO₄ conc + 5g de Ag₂SO₄).
2cm³ d'eau distillée
1cm³ de dichromate 0,25N
Fermer ; agiter avec précaution.
Chauffer pendant 2 heures à 150°C.

Blanc :

Même procédé avec 2cm³ d'eau distillée fraîche.

Dosage :

- Transvaser l'échantillon lorsque le tube est refroidi
- Diluer à 30 cm³
- Ajouter 5cm³ de H₂SO₄ concentré (H₂SO₄ + Ag₂SO₄)
- Agiter, laisser refroidir puis ajouter une goutte de ferroïne .
- Titrer par le sulfate ferreux 0,0125N jusqu'au virage du bleu vert à l'orange.
- Doser de la même façon le blanc.

Vérification du titre du sulfate ferreux :

Le titre de cette solution doit être vérifié tous les jours.
-10cm³ de dichromate 0,025N (préalablement diluer au 1/10 la solution à 0,25N de dichromate de potassium)
-20cm³ d'eau distillée
-ajouter 5cm³ de H₂SO₄ concentré (H₂SO₄ conc +Ag₂SO₄)
-Agiter – refroidir – ajouter une goutte de ferroïne.

-Titrer par le sulfate de fer ferreux 0,0125N.

Calculs :

Soit V_1 le volume de sulfate ferreux utilisé pour doser l'échantillon,

Soit V_B le volume de sulfate ferreux utilisé pour doser le blanc

Soit V_T le volume de sulfate ferreux utilisé pour doser les 10cm^3 de dichromate 0,025N.

La DCO exprimée en mg/L est égale à :

$$\text{DCO}_{\text{mg/L}} = [(V_T - V_1) - (V_T - V_B)] * 1000 / V_T = 1000 * (V_B - V_1) / V_T.$$

Remarques :

- Prendre toutes les précautions pour éliminer l'introduction de matières organiques provenant de la verrerie, de l'eau distillée, de l'atmosphère.
- Effectuer de préférence des prélèvements dans des récipients en verre, les flacons en plastique pouvant entraîner la présence de contaminants organiques.
- Pratiquer la détermination de la DCO très rapidement après le prélèvement.
- Si l'échantillon devient vert en chauffant, il faut refaire en diluant au demi (ou au plus)
- Il est recommandé de faire 2 essais par échantillon.
- Vérifier la méthode avec :
 - * une solution d'hydrogénéphthalate de potassium à 136 mg/L, DCO théorique 160 .
 - * ou une solution d'acide benzoïque à 183 mg/L, DCO théorique 360.

Rapport :

Expliquer pourquoi doit-on vérifier le titre du sulfate ferreux

Déterminer la DCO des différents échantillons.

Interpréter les résultats obtenus selon la provenance de chaque échantillon et en tenant compte de certaines directives ou normes que l'on retrouve dans la littérature.

Résumé

Dans le cadre du projet **Loire Niger** de l'**UNESCO**, plusieurs étudiants ont été missionnés dans diverses composantes de ce projet, dont les **teintureries** de **Bamako** et les **effluents** rejetés par celles-ci. Mon travail a consisté dans l'étude de ces effluents, et leurs compositions et dans la mise au point d'un système de **prétraitement** applicable à chaque **teinturerie**. Pour ce faire, j'ai travaillé en collaboration avec un étudiant Malien, et des chimistes de la faculté des sciences et techniques de Bamako. La première partie du stage a consisté à trouver le maximum d'informations sur la teinturerie, qui reste un métier gardant ses secrets de fabrication. Les conditions de vie et le manque de moyens au **Mali**, ont certes rendues difficiles certaines missions, notamment en laboratoire, mais nous avons néanmoins réussi à concevoir un système qui pourra prochainement être exploité, visant ainsi à la protection de l'environnement tout en revalorisant l'art de la **teinture**.